



**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta stavební**

**Disertační práce**

# **Výzkum vlastností drcené slámy využitelné ve stavebnictví**

**The research of crushed straw properties utilized  
in civil engineering**

Ing. Jiří Teslík

Školitel: doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

Pracoviště: Katedra pozemního stavitelství

Ostrava 2016

## **Poděkování**

Velmi rád bych touto formou poděkoval mému školiteli panu doc. Ing. Jaroslavu Solařovi, Ph.D. za několikaleté vedení, podporu, trpělivost a pomoc v mém profesním růstu. Mé hluboké poděkování patří také celé řadě kolegů z Fakulty stavební VŠB TUO, kteří se mnou na výzkumu spolupracovali a bez nichž by nebylo možné dosáhnout všech vytyčených cílů. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za motivaci k finálnímu odevzdání mé práce.

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou disertační práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením školitele a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě teze disertační práce užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk disertační práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího disertační práce. Souhlasím s tím, že údaje o disertační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – disertační práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

# 1. Obsah

1. Obsah.....	5
Anotace disertační práce .....	6
2. Úvod .....	7
3. Produkce a využití slámy v České republice .....	9
3.1 Produkce obilovin a slámy .....	9
3.2 Zpracování slámy v zemědělství .....	10
3.3 Využití slaměných balíků ve stavebnictví .....	12
3.4 Výroba drcené slámy .....	19
4. Současný stav problematiky .....	22
4.1 Vlastnosti slámy ve formě slaměných balíků .....	22
4.2 Vlastnosti drcené slámy jako foukané tepelné izolace .....	25
5. Požární charakteristiky drcené slámy .....	36
5.1 Třída reakce na oheň stavebních materiálů a výrobků .....	37
5.2 Doplnková klasifikace třídy reakce na oheň podle vývinu kouře.....	38
5.3 Doplnková klasifikace třídy reakce na oheň podle plamenně hořících kapek.....	39
5.4 Zkouška zápalnosti drcené slámy .....	39
5.5 Zkouška zápalnosti směsi drcené slámy a rozvlákněné celulózy .....	42
5.6 Zkouška jednotlivým hořícím předmětem - <i>SBI</i> .....	43
5.7 Požární odolnost stavebních konstrukcí s drcenou slámou .....	50
5.8 Zhodnocení výsledků výzkumu požárních charakteristik drcené slámy .....	70
6. Stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti drcené slámy .....	71
6.1 Součinitel tepelné vodivosti ve stavební praxi .....	71
6.2 Metoda stanovení součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů.....	73
6.3 Měření součinitele tepelné vodivosti drcené slámy pomocí chladicí skříně .....	76
7. Zhodnocení možností využití drcené slámy ve stavebnictví .....	85
8. Závěr.....	92
9. Literatura .....	94
Příloha A - Zkušební protokol zkoušky zápalnosti drcené slámy .....	97
Příloha B - Zkušební protokol o zkoušce <i>SBI</i> drcené slámy .....	100
Příloha C.....	106
Příloha D – Stanovení součinitele tepelné vodivosti drcené slámy .....	118
D.1 Zkušební protokol stanovení součinitele tepelné vodivosti drcené slámy .....	118
D.2 Naměřené hodnoty jednotlivých měření součinitele tepelné vodivosti .....	122

## **Anotace disertační práce**

Disertační práce popisuje výsledky výzkumu zaměřeného na stanovení vybraných základních fyzikálních parametrů foukané tepelné izolace z drcené slámy. Jedná se o přírodní materiál, který není v současné době ve stavebnictví používán a nemá ověřeny vlastnosti, které jsou pro jeho využití podstatné. V disertační práci jsou stručně uvedeny výsledky výzkumu vlastností drcené slámy, které byly provedeny v rámci jejího řešení.

## **Annotation of Doctoral Thesis**

Doctoral Thesis describes the results of research aimed on the determining of the important physical parameters of crushed straw blown-thermal insulation. Crushed straw is a natural material which is not currently used in civil engineering and has not verified properties that are essential for its use. In the Doctoral Thesis are briefly presented results of measuring properties of crushed straw, which were conducted in the framework of the Doctoral Thesis.

## 2. Úvod

Přírodní stavební materiály doprovázely lidstvo od jeho počátků až do současnosti. Nárůst jejich obliby v současné době ukazuje, že se s nimi budeme setkávat i v budoucnu. Přírodní stavební materiály jsou jednoduchou a tradiční surovinou, kterou můžeme pro výstavbu použít. Definovat přírodní stavební materiál však není jednoduché. Výrobci průmyslových, nebo umělých stavebních materiálů termín „přírodní“ nechtějí akceptovat. To protože základní suroviny, ze kterých se průmyslové stavební materiály vyrábějí pochází také z přírody. Kde je tedy hranice mezi přírodními a umělými materiály? Půjdeme-li k podstatě věci, pak veškeré materiály jsou přírodní. Rozdíl mezi přírodními a umělými (průmyslovými, syntetickými) materiály je spíše v tom, jakým způsobem je upravována prvotní surovina, ze které pocházejí. Přírodní materiály zůstávají ve stejné, nebo málo upravené podobě. Průmyslové materiály vznikají jako nový materiál ze vstupních surovin. Zajímavým řešením problému terminologie může být například zavedení pojmů organické a syntetické stavební materiály. Vzhledem k faktu, že se termín organické materiály příliš nevyužívá budeme se v praxi spíše setkávat s označením přírodní stavební materiály. Jak uvádí kniha „*Přírodní stavební materiály*“ [1] lze tento termín nalézt i ve starých normách, například v normě ČSN 1168 z roku 1939 [2].

Přírodní materiály můžeme dále rozdělit například na materiály tradiční a netradiční. Toto dělení není legislativně přesně specifikováno a jde spíše o obecné termíny, které se v praxi využívají. Rozdělení na tradiční a netradiční materiály je tedy subjektivní a u každého může seznam tradičních a netradičních přírodních stavebních materiálů vypadat jinak. Mezi tradiční přírodní stavební materiály, které se dnes používají můžeme zařadit dřevo, výrobky ze dřeva, například dřevovláknité izolace, deskové materiály na bázi dřeva (např. OSB, Heraklit, překližky, dřevotřískové desky), kámen, hlínu, nebo materiály z konopného pazdeří. Mezi netradiční materiály se řadí ovčí vlna, nepálená hlína, len, korek, rákos a sláma. Právě sláma má v přírodním a environmentálně vyspělém stavitelství mnoho možností využití a může se stát zajímavou a ekonomicky výhodnou alternativou k tradičním přírodním i syntetickým stavebním materiálům. Nejčastěji se můžeme ve stavebnictví setkat se slámou ve formě malých slaměných balíků. Malé balíky o rozměrech cca 60 cm × 50 cm × 35 cm mohou tvořit výplňovou tepelnou izolaci v dřevostavbách s lehkým dřevěným skeletem. Tento konstrukční systém je nazýván „nenosná sláma – Non loadbearing Straw“. Slaměné balíky však jsou schopny přenášet i zatížení. Mohou se tedy využít také pro stavbu

nosných konstrukcí. Takové konstrukce nazýváme „nosná sláma – Loadbearing Straw“. Výhodou využití malých slaměných balíků je, kromě jiného, dostatek technických informací důležitých pro návrh i realizaci slaměných staveb. Velkou nevýhodou je však omezená dostupnost malých slaměných balíků v požadované kvalitě. Z ekonomických i časových důvodů zemědělci raději slámu lisují do balíků velkých. Řešením tohoto problému může být využití slámy drcené. Drcenou slámu lze vyrobit jak z malých tak z velkých balíků. Nespornou výhodou je, že materiál lze vyrábět a dodávat v průběhu celého roku při použití uskladněných slaměných balíků. Drcená sláma má však omezené možnosti využití. Je vhodná jako sypaná či foukaná tepelná izolace, ale nelze jí využívat pro výplňové či nosné konstrukce. Problémem při využití drcené slámy je neznalost jejich technických vlastností. Stanovení vybraných technických vlastností drcené slámy je obsahem této disertační práce. Disertační práce je rozdělena na dvě hlavní části ve kterých jsou popsány výsledky výzkumu zaměřeného na zjištění tepelně technických a požárních vlastností drcené slámy. V první části jsou uvedeny výsledky měření součinitele tepelné vodivosti. Ve druhé části disertační práce jsou uvedeny výsledky požárních zkoušek zaměřených na stanovení třídy reakce na oheň drcené slámy a výsledky předběžné velkoformátové požární zkoušky. Dílčí části disertační práce jsou věnovány popisu výroby drcené slámy a možnostem jejího využití ve stavebnictví.

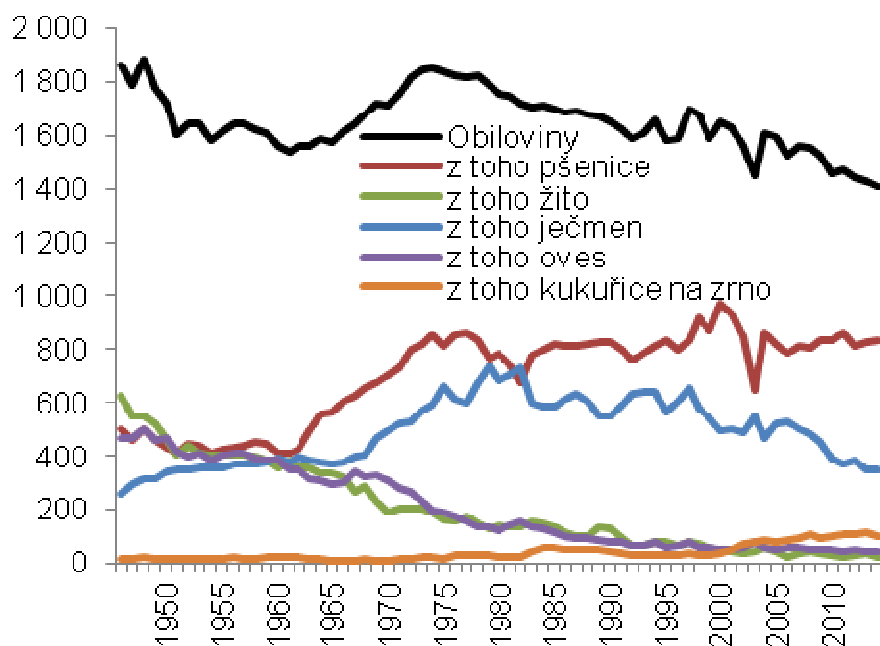


### 3. Produkce a využití slámy v České republice

#### 3.1 Produkce obilovin a slámy

Významnou část orné půdy v České republice zaujímají obiloviny. Podle údajů Agrární komory České republiky činila výměra zemědělské půdy zjištěná soupisem osevních ploch v roce 2015 3 494 tis. Ha. Tato výměra je o 22 tis. ha menší (o 0,6 %) než v roce 2014 což ukazuje negativní trend ubývání zemědělské půdy. Výměra orné půdy v roce 2015 zaujímala 2 492 tis. Ha. Podíl výměry orné půdy k výměře zemědělské půdy je 71,3 %. Podíl jednotlivých pěstovaných druhů plodin byl v roce 2015 takovýto. Okopaniny tvořily 3,3 %, olejniny 18,1 % (z toho řepka činila 82,1 % z olejnin celkem). Luskovinami bylo oseto 33 tis. Ha. Okopaniny zaujímaly 81 tis. Ha. Brambory v zemědělském sektoru byly pěstovány na ploše 23 tis. Ha. Plodiny sklizené na zeleno na orné půdě celkem zaujímaly plochu 458 tis. Ha. Obiloviny byly pěstovány na 57,1 % osevní plochy (56,3 % orné půdy). Uvedené hodnoty ovlivnil především nárůst osevních ploch pšenice (o 399 ha na 12 238 ha) a ječmene (o 194 ha na 4 734 ha). Naopak osevní plochy žita, ovsa, triticales a kukuřice meziročně poklesly. Z hlediska struktury pěstovaných obilovin je v našem kraji nejrozšířenější pšenice ozimá, kterou v roce 2015 zemědělci oseli 11 151 ha (meziročně o 504 ha více), tedy téměř 30 % celkové osevní plochy [3]. Vývoj podílu jednotlivých druhů obilovin pěstovaných v České republice v období 1950 až 2015 je uveden v grafu Graf. 1.

Graf. 1 Osevní plochy obilovin (v tis. ha), zdroj: ČSU [3]



### 3. 2 Zpracování slámy v zemědělství

Sláma je odpadní produkt, který vzniká při pěstování obilovin. Celková produkce slámy v České republice závisí na množství obilovin, které je každý rok pěstováno. Průměrná produkce slámy v České republice se pohybuje okolo 1249442 tun [3]. Průměrný výnos slámy z jednoho hektaru je 3,1 t/ha. Podíl jednotlivých obilovin na produkci slámy v České republice je uveden v tabulce Tab. 1.

Tab. 1 Průměrná roční produkce slámy v české republice, zdroj: ČSU [3]

Plodina	Průměrná sklizňová plocha (ha)	Průměrný výnos (t/ha)	Průměrná produkce slámy (t)
Pšenice ozimá	850931	4,6	3949561
Pšenice jarní	63236	3,1	192659
Žito	39781	3,5	139501
Ječmen ozimý	147025	4,0	588300
Ječmen jarní	345620	3,5	1207547
Oves	52982	2,8	146643
Kukuřice na zrno	59930	7,3	442948
Ostatní obilniny	34749	2,9	120416
Obilniny celkem	1611951	4,3	6854218
Řepka	326624	2,3	842427
TTP celkem	455807	3,1	1249442

Sklizeň slámy před vynálezem žacích strojů probíhal dvoufázovým způsobem. Celé nadzemní části rostlin byly ručně posečeny. Pro ruční sečení obilí se od 18. století využívaly nejčastěji tzv. hrabice. Jednalo se o kosu vybavenou rožněm z dřevěných prutů. Rožeň zajišťoval že jednotlivá stébla byla po posečení ukládána na jednu stranu do řádku. Po posečení byla stébla ručně svázána do snopů, které byly vyrovnány do kopek, kde došlo k postupnému proschnutí obilí. Po proschnutí byly snopy odvezeny na místo kde byly vymláčeny. Vymláčením se z klasů uvolnila zrna. Mláčení bylo prováděno ručně pomocí dřevěných cepů. Od 2. poloviny 19. Století se pro mláčení obilí začaly využívat strojní mlátičky. Po vymláčení obilí bylo zrno pomocí sít zbaveno nečistot a odpadní sláma mohla být dále využívána. Sláma mohla sloužit jako střešní krytina v podobě došků. Sláma se využívala také jako náplň lůžek jako tzv. slamníky.

V současné době se při sklizni obilovin využívají sklízecí mlátičky. Ty jsou při sklizni schopny oddělit zrno od zbytku klasu. Zrno je pak transportováno pomocí fukaru na nákladní automobily. Odpad, tedy stébla vymláčené slámy zůstávají v řádcích na poli. Před následujícími agrotechnickými operacemi je nutno slámu zpracovat. Jednou z možností je slámu rozdružit pomocí drtiče integrovaného ke sklízecí mlátičce. Rozdružená sláma

zůstává na poli a následně je zaorána do půdy. Při tomto způsobu zpracování není nutno slámu transportovat a dále upravovat. Sláma má v případě zaorání také funkci hnojiva. Hnojení slámou zvyšuje obsah humusu v půdě a ovlivňuje půdní strukturu. Půdy hnojené slámou jsou vzdušnější a rychleji vysychají, což je výhodou pro těžké půdy a nevýhodou pro lehké. Sláma obsahuje kolem 80 % organických látek. Obilní sláma obsahuje v průměru kolem 0,45 % N, 0,79 % K, 0,09 % P, 0,24 % Ca a 0,06 % Mg. Sláma se vyznačuje velmi vysokým poměrem uhlíku k dusíku. Nízký obsah dusíku obsaženého ve slámě nestačí pro rozkladnou činnost mikroorganismů a ty bez přidání hnojiv odčerpávají dusík z půdy. Nedochází tak k potřebnému hnojení půdy. Potřebný dusík může být v půdě zvýšen prostřednictvím močůvky, kejdy nebo průmyslovými hnojivy.

Dalším způsobem zpracování slámy je lisování. V zemědělské výrobě se k lisování (tvarování) slámy do formy balíků používají sklízecí lisy. Úkolem sklízecích lisů je plynule sebrat z řádků suchý stébelnatý materiál. Následně dochází k lisování a svázání do rozměrově stejných balíků. Slisované balíky mohou být ponechány na poli nebo je lze naložit na dopravní prostředek a transportovat do místa dalšího využití nebo uskladnění. Objemová hmotnost suché balíkové suroviny je obvykle 50 až 250 kg.m<sup>-3</sup> podle druhu obiloviny. Objemovou hmotnost slisovaných slaměných balíků lze zvýšit pořezením slámy před vstupem do lisu. U většiny lisů lze také upravit rozměry výsledných slaměných balíků podle potřeb následného zpracování. V současnosti jsou používány lisy, které lisují sebrané suroviny do válcových a hranolových forem balíků. Malé hranolové balíky mají hmotnost 20 až 35 kg. Jejich výhodou je, že nízká hmotnost umožňuje jejich ruční manipulaci. Sklízecí lisy na malé balíky se vyznačují nižší výkonností. Velké hranolové balíky jsou produkovány lisy s pístovým lisovacím mechanismem (Obr. 1). Jejich profil má čtvercový průřez. Hmotnost velkých slaměných balíků se v závislosti na vlastnostech lisovaného materiálu pohybuje v rozmezí 200 až 600 kg. Velmi často se sláma lisuje do válcových balíků pomocí svinovacích lisů. Válcové balíky profil kruhového průřezu a jejich se pohybuje v rozmezí 190 až 400 kg. Svinovací lisy lze podle konstrukčního řešení rozdělit na lisy s pevnou komorou a lisy s variabilní komorou, které mohou při stejné míře slisování produkovat balíky o různé velikosti. Nevýhodou velkých slaměných balíků je, že manipulace s nimi vyžaduje použití mechanizačních prostředků. Velmi důležitá je pro vlastní lisování ale například i pro uskladnění slámy (slaměných balíků) hmotnostní vlhkost. Hmotnostní vlhkost slámy by měla být maximálně 17 %. Pokud je vlhkost slámy při lisování vyšší je nutno slámu nechat dosušit. Optimální je dosušování přímo v místě sběru na poli. Slámu lze dosušovat i průmyslově pomocí sušiček (plynové, naftové). Tato metoda je však energeticky i finančně velmi náročná.

Dosušování slámy na poli je zase závislé na povětrnostních podmínkách. Obecně platí, že by se sláma měla lisovat za stejného počasí za jakého probíhá sklizeň obilí. Tím by měla být zajištěna její optimální vlhkost bez nutnosti dalšího dosušování. Hmotnostní vlhkost slaměných balíků lze kontrolovat po jejich slisování i během uskladnění například pomocí zemědělských vlhkoměrů. Kontrola vlhkosti je velmi důležitá nejen z důvodu ochrany proti napadení hnilobou a plísněmi, ale také z důvodu nebezpečí samovznícení.



Obr. 1 Sklízecí lis na velké hranolové slaměné balíky, zdroj: [www.himel.cz](http://www.himel.cz) [4]

### 3. 3 Využití slaměných balíků ve stavebnictví

Jak již bylo uvedeno v úvodu, v České republice se pro výstavbu slaměných staveb používají zejména dva konstrukční systémy. Systém s nenosnou slámou „Non Loadbearing Straw“ a systém s nosnou slámou „Loadbearing Straw“. Konstrukční systém s nenosnou slámou využívá k přenosu zatížení do základů samostatnou nosnou konstrukci a slaměné balíky tvoří pouze výplň obvodových stěn a zároveň tepelně izolační vrstvu. Nosná konstrukce je pak většinou tvořena lehkým dřevěným rámovým skeletem. Slaměné balíky v systémech s nenosnou slámou nepřenášejí zatížení a nejsou tedy na ně kladeny nároky z hlediska únosnosti, sedání a přetvoření. Konstrukční systém s nenosnou slámou a dřevěným rámovým skeletem je velmi podobný systémům využívaným při stavbě současných dřevostaveb. Nosnou konstrukci mohou tvořit například sloupky z dřevěných hranolů 60 (40, 80) mm x 160 (180, 200) mm nebo plnostěnné dřevěné nosníky tvaru *I* (například *STEICO*). Rozteč sloupků dřevěného skeletu pak odpovídá rozměrům slaměných balíků, které se mezi sloupky ukládají (viz Obr. 2). Obvyklá rozteč sloupků je mezi 500 až 650 mm. Svislé sloupky jsou doplněny o vodorovné dřevěné prvky (základový práh, ztužující věnec). Spojení svislých sloupků a vodorovných nosných prvků vznikne rámová konstrukce. Aby byla zajištěna prostorová tuhost objektu je nutné provést opláštění nosných stěn konstrukčními deskami.

Konstrukční desky jsou nejčastěji na bázi dřeva, např. OSB. Mohou však být také z materiálů na bázi sádry (sádrovláknité, konstrukční sádrokartonové desky) nebo cementu (např. cementoštěpkové desky). Konstrukční desky mohou kromě prostorové tuhosti plnit také další funkce. Mohou zajišťovat vzduchotěsnost obálky budovy, omezovat prostup vodních par z interiéru do exteriéru, nebo zvyšovat požární odolnost. Po vytvoření nosné konstrukce objektu včetně opláštění se mezery mezi svislými sloupky vyplňují slaměnými balíky. Aby nevznikaly tepelné mosty je nutné vyplnit všechny nezaizolované mezery volnou slámou nebo jiným tepelným izolantem (např. ovčí vlnou), viz Obr. 3.



Obr. 2 Dřevěná rámová konstrukce bez výplně, zdroj: [www.baobaby.org](http://www.baobaby.org) [4]



Obr. 3 Dřevěná rámová konstrukce vyplněná slaměnými balíky, zdroj: [www.baobaby.org](http://www.baobaby.org) [4]

Na rozdíl od nenosné slámy tvoří v konstrukčních systémech s nosnou slámou svislé nosné konstrukce přímo slaměné stěny. Nosné stěny jsou složeny ze slaměných balíků kladených na vazbu. Stěny ze slaměných balíků přenášejí zatížení od stavby do základů, proto musí být únosné a kvalitně stlačené. Objemová hmotnost nosných slaměných balíků by měla být v rozmezí 90 až 120 kg.m<sup>-3</sup>. Nosná sláma začala být využívána v 19. století v Nebrasce, proto se také někdy tento systém uvádí jako „Nebraska Straw System“. Systém nosné slámy je velmi jednoduchý. Nevyužívá přídatné podpěry, stavba je rychlá a ekonomicky výhodná. Systémy s nosnou slámou mají však několik konstrukčních omezení. Nosná sláma se využívá převážně pro jednopodlažní objekty, ale v zahraničí byly vybudovány i dvoupodlažní stavby. Další omezení konstrukčních systémů z nosné slámy je ve výšce stěn. Nosné stěny ze slaměných balíků propojených dřevěnými tyčemi nejsou příliš únosné na vzpěr. Doporučení pro poměr šířky stěny k její výšce je 1/5. Délka nevyztužené stěny by pak neměla přesáhnout 6 m [1]. K provázání slaměných balíků v konstrukci slouží dřevěné kolíky. Těmi jsou jednotlivé vodorovné řady balíků propojeny. Malty ani jiné lepicí hmoty se nepoužívají. Dalšími prvky, které zajišťují tuhost konstrukce, jsou základový práh a pozední věnec.

Ty slouží k uložení balíků a roznesení svislého i vodorovného zatížení. Velmi důležitým krokem pro zajištění stability stěn je předepnutí. Předepnutím se stěny stlačí a ztuží. Předepnutí se provádí pomocí upínacích popruhů uchycených mezi základový práh a ztužující věnec. Stěna se pomocí popruhů stlačí a zajistí táhly proti uvolnění po demontáži popruhů. Táhla jsou v nosných stěnách ponechána natrvalo. Při předepnutí nosných stěn dochází k stlačení slaměných stěn přibližně o 30 %. Ukázka zajišťujících prvků slaměných balíků pro konstrukci stěny je zobrazena na Obr. 7. Míra stlačení je závislá na kvalitě použitých slaměných balíků. V rámci projektu Studentské grantové soutěže SGS SP2012/185 s názvem „Stanovení deformačních a pevnostních charakteristik konstrukcí ze slaměných balíků“ byla na půdě Fakulty stavební provedena série experimentálních zkoušek s cílem stanovit deformační charakteristiky slaměných balíků. V rámci projektu byly provedeny tlakové zkoušky slaměných balíků v lisu (Obr. 4). Cílem zkoušek bylo stanovit hodnotu přetvoření  $\varepsilon_{lin}$  (%) při daném tlakovém zatížení  $F_{lin}$  (kN) a napětí  $\sigma_{lin}$  (kPa). Z naměřených hodnot byl následně vypočten modul pružnosti  $E_{lin}$  (kPa). Deformační charakteristiky byly v rámci projektu ověřeny také v rámci velkoformátové zatěžovací zkoušky zkušebního segmentu nosné stěny ze slaměných balíků. Slaměná stěna o rozměrech 2 m × 1,10 m byla vybudována v prostorách zkušebního *STANDU* Fakulty stavební, VŠB TUO. Zkušební *STAND* slouží primárně pro výzkum deformačních charakteristik zemin, nicméně jeho rozměry a konstrukce vyhovovaly požadavkům pro provedení tlakových zkoušek slaměné stěny. Konstrukční systém slaměné stěny byl vybudován v systému nosné slámy. Tj., slaměné balíky přímo přenášejí zatížení od stropů a střechy do základů. Slaměné balíky, které tvořily konstrukci stěny, byly na sebe uloženy na vazbu. Objemová hmotnost použitých balíků se pohybovala okolo 90 kg.m<sup>-3</sup>. Ve spodní části, byly balíky uloženy na základový práh z dřevěných fošen 2 mm × 160 mm × 40 mm. Po sestavení stěny byly vodorovné řady balíků propojeny pomocí svislých dřevěných kolíků. Ty byly vytvořeny z dubových větví a vzájemně propojily vodorovné řady slaměných balíků. Do každého balíku byly osazeny dva dřevěné kolíky. Na horní část stěny byl následně uložen roznášecí práh z fošen. Konstrukce zkušební stěny odpovídala konstrukčním systémům používaným v praxi. Měření deformačních charakteristik probíhalo ve dvou sériích. První měření bylo pouze zkušební a mělo ověřit vhodnost použití kruhové zatěžovací desky pro tlakové zkoušky. Druhá série měření byla provedena podrobně na slaměné stěně o rozměrech 2,2 m × 1,0 m. Pro vyvolání tlakového zatížení zkušebního vzorku stěny byla ve spolupráci s Katedrou geotechniky a podzemního stavitelství použita kruhová zatěžovací deska, viz Obr. 5. Statická zatěžovací deska se v praxi využívá pro měření



deformačního modulu a únosnosti zemin. Kruhová zatěžovací deska byla osazena na horní část slaměné stěny. Aby bylo možno vyvolat zatížení stěny, byla v horní části deska zapřena o zkušební *STAND*. Zatížení z kruhové desky bylo roznášeno pomocí ocelového nosníku *I* 100 na celou horní plochu slaměné stěny. Následně byla stěna postupně zatěžována a byly odečítány deformace. Napětí bylo postupně navyšováno v krocích po 50 kPa až do dosažení maximální hodnoty napětí  $\sigma_{lin} = 350$  kPa. Deformace byla odečítána ve třech místech stěny pomocí laserového dálkoměru. Na obou koncích stěny k horní části *STANDU* a na pístu kruhové desky. Hodnoty byly zapsány do tabulky a po vyhodnocení vypočteny celkové deformace  $\delta_{lin}$  (mm).



Obr. 4 Tlaková zkouška slaměného balíku



Obr. 5 Velkoformátová tlaková zkouška slaměné stěny

Výsledky provedených zatěžovacích zkoušek publikovaných v [5] potvrdily, že slaměné balíky je možno využívat také pro stavbu nosných konstrukcí. I přes všechny zjištěné informace se navrhování a provádění staveb z nosné slámy se v současné době řídí z velké míry znalostmi a zkušenostmi z dřívějších realizací. Jedinou použitelnou normou pro návrh a provádění je „Strawbale Code“ [4]. Jedná se o Kalifornský předpis pro výstavbu z nosné slámy. V České republice však doposud žádný závazný předpis neexistuje. Návrh staveb z nenosné i nosné slámy má také svá specifika, která je nutno dodržovat. Při návrhu vodorovných a svislých nosných konstrukcí je třeba vycházet z rozměrů slaměných balíků, které budou pro stavbu použity. Z výšky slaměných balíků vychází například konstrukční výšky jednotlivých podlaží. Šířka balíků pak má vliv na délky stěn, nebo půdorysné umístění a velikost otvorů. Zohlednit velikost balíků v návrhu stavby je dána jejich obtížnou a časově náročnou dodatečnou úpravou rozměrů.

Pro stavební účely se nevyužívají pouze malé slaměné balíky, ale stavět lze i z velkých hranolových balíků. Obvykle se velké balíky používají pro výstavbu nosných stěn. V tomto případě se jedná o konstrukční systém s nosnou slámou. Konstrukční principy nosných konstrukcí z velkých slaměných balíků jsou podobné principům, které se využívají při návrhu i realizaci staveb z balíků malých. Rozměry objektu, umístění oken a dveří, konstrukční výšky je nutno volit podle rozměru balíků, které bude mít stavebník k dispozici. Příprava stavby ze slaměných balíků proto obvykle začíná vyhledáním vhodného dodavatele balíků. U dodavatele je nutné zjistit jaké rozměry balíků je schopen vyrábět. Podle těchto rozměrů je pak možno vypracovat projektovou dokumentaci. Vzhledem k tomu, že skladování slaměných balíků může být finančně náročné a také může docházet k jejich znehodnocování působením vlhkosti je vhodné, aby se termín výstavby shodoval s obdobím žní. Z ekonomického hlediska je ideální najít si dodavatele slaměných balíků co nejblíže místa stavby. Při použití velkých slaměných balíků je nutné použít při realizaci také manipulační techniku. Velké slaměné balíky mají obvyklé rozměry 70 cm × 120 cm × 100 cm (až 300) a dosahují hmotnosti okolo 300 kg. Výhodou velkých balíků je jejich velká míra stlačení v průběhu lisování. Velké balíky jsou lisovány na objemovou hmotnost 180 až 200 kg.m<sup>3</sup>. Míra stlačení je přibližně dvakrát větší než u malých balíků. Při použití v nosných stěnách tak dochází k menším deformacím (stlačení) při zatížení. Literatura uvádí deformaci 1,25 % při zatížení 20 kN.m<sup>-2</sup> [4]. Nevýhodou použití velkých slaměných balíků je velká tloušťka nosných stěn. Ta může být v závislosti na rozměrech balíků od 70 do 100 cm. Velká tloušťka obvodových stěn má však výhody z hlediska velké akumulace tepla, která přispívá k tepelné stabilitě vnitřního prostředí budov. Výhodou je také vysoká hodnota tepelného odporu, která umožňuje stavět i domy v pasivním energetickém standardu.



Obr. 6 Experimentální věž z velkých slaměných balíků, zdroj: [www.baobaby.org](http://www.baobaby.org) [4]





Obr. 7 Konstrukční prvky staveb z nosné slámy. Základový práh (vlevo), dřevěné kolíky pro propojení balíků (uprostřed), předepnutí slaměné stěny pomocí popruhů (vpravo).

Na stavebním trhu existuje konstrukční systém, který kombinuje výhody nosné i nenosné slámy. Jedná se o konstrukční systém Litevské firmy *ECOCOCON* [6]. Jedná se o prefabrikovaný konstrukční systém složený ze stěnových panelů. Stěnové panely jsou tvořeny slaměnými balíky vloženými do dřevěného obvodového rámu. Slaměné balíky jsou do dřevěného rámu vloženy stlačené. Míra stlačení je přibližně 30 % a odpovídá míře stlačení nosných stěn v konstrukčním systému s nosnou slámou. Po vložení do rámu se stlačení balíků uvolní a vratná deformace vyplní dřevěný rám. Slaměné balíky se ve spojení s dřevěným rámem stávají nosné. Podle údajů výrobce má stěnový panel pevnost v tlaku  $\sigma_{lin}$  až 41,45 kN.m<sup>-1</sup>. Základním modulovým dílcem konstrukčního systému *ECOCOCON* je obvodový nosný stěnový panel o rozměrech 2,8 m × 0,8 m × 0,4 m (V × Š × TL). Jednotlivé panely se při realizaci k sobě spojují pomocí vrutů a spojovacích plechů. Pro zajištění prostorové tuhosti jsou stěny opatřeny šikmým laťováním z prken nebo opláštěním konstrukčními deskami. Povrch panelů je upraven speciální sekačkou do roviny a je vhodný pro nanášení povrchových úprav, například hliněných omítek. V místech otvorů se používají speciální parapetní a nadokenní panely. Výhodou tohoto konstrukčního systému je rychlá montáž. Hmotnost jednotlivých dílců nepřevyšuje 200 kg a při realizaci není potřeba velká manipulační technika. Stěnový panel má také velmi dobrou odolnost proti působení plamene a je zařazen do třídy B-s1, d0 podle třídy reakce na oheň. Stěna z panelů opatřená oboustrannou hliněnou omítkou dosáhla při požární zkoušce požární

odolnosti  $F_{90}$ . Tepelný odpor  $R = 8,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  při tloušťce 0,4 m. Laboratorní hodnota vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  (dB) byla zkouškami stanovena na hodnotě 54 dB. Nevýhodou tohoto konstrukčního systému je fakt, že se všechny díly vyrábí v Litvě. Cena dopravy stavebních dílců do České republiky tak výrazně zvýší celkovou cenu stavby. Vzhledem k ekologickým dopadům silniční dopravy se také výrazně zhorší celková pozitivní bilance vložené energie.



Obr. 8 Montáž stěnových panelů *ECOCOCON*, zdroj: [www.ecococon.lt](http://www.ecococon.lt) [6]

V České republice se vyrábí deskový materiál z lisovaných stébel slámy. Jedná se o materiál pod názvem *EKOPANEL* [7]. *EKOPANELY* jsou univerzální plošné konstrukční prvky z lisované slámy. *EKOPANEL* je vyroben z přírodních recyklovatelných materiálů z balíků obilné slámy, proto je klasifikován jako ekologický výrobek. Obilná sláma je dopravena do výroby v podobě velkých slaměných balíků. Na výrobní lince jsou velké balíky rozpojeny do volné slámy. Stébla slámy jsou poté bez pojiva lisována na výstředníkovém lisu do výsledného profilu jádra. Následně se jádro panelu polepuje recyklovanou lepenkou. Výsledná tloušťka panelu je 40 mm nebo 60 mm. Panely se k sobě při realizaci spojují natupo pomocí speciálních kotevních spon. Spáry mezi panely se vyplňují *PUR* pěnou. Ve stavebnictví je možno *EKOPANELY* využít pro konstrukce vnějších i vnitřních nosných stěn, podlah, podhledů, střech a příček. Jelikož se jedná o konstrukční desky je možno *EKOPANELY* využít v dřevostavbách jako opláštějící vrstvu nosných stěn. Nevýhodou panelů v porovnání s ostatními deskovými materiály je jejich velká hmotnost

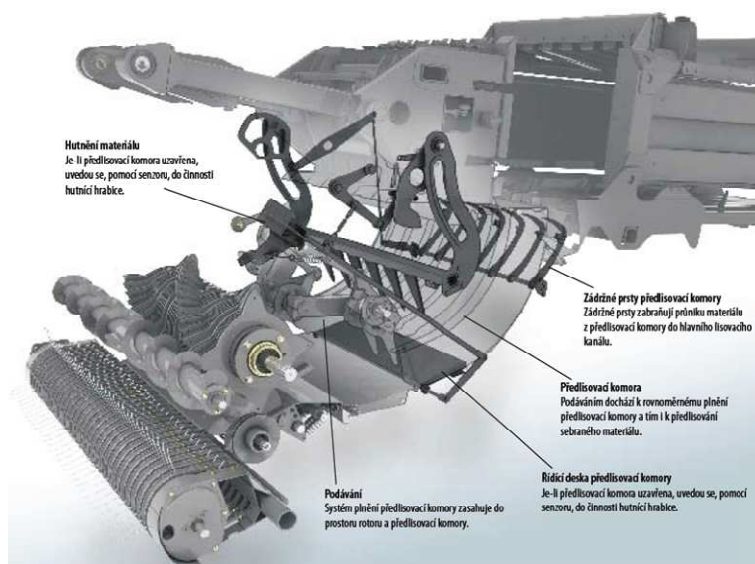
a s tím spojená horší manipulovatelnost. V porovnání s dekovými materiály na bázi sádry horší třída reakce na oheň. Další nevýhodou je složitá úprava rozměrů na stavbě, kde je nutno řezané hrany panelů zalepit speciální lepicí páskou.

Tab. 2 Technické parametry panelů z lisované slámy [7]

Veličina	Hodnota
Rozměry $\check{S} \times TL \times V$ (mm)	1200 (800) x 58 x 1200 až 3200
Objemová hmotnost $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	379
Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	0,099
Tepelná kapacita $C$ (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	2400
Faktor difuzního odporu $\mu$ (-)	9,7
Ekvivalentní difuzní tloušťka $S_d$ (m)	0,56
Třída reakce na oheň	<i>E</i>

### 3. 4 Výroba drcené slámy

Jak již bylo zmíněno v úvodu, drcená sláma se v současné době nejčastěji využívá jako podestýlka pro hospodářská zvířata a pro výrobu pelet. Celý výrobní proces drcené slámy začíná vázáním volných stébel slámy vzniklé při sklizni zrnin ve sklízecích mlátičkách. Obvykle jsou volná stébla slámy ponechána v řádcích přímo na poli. Zde dochází při příznivých klimatických podmínkách k vysušení slámy na hmotnostní vlhkost 15 % až 17 %. Po vysušení slámy se volná stébla balíkují pomocí sklízecích lisů (lis na balíky slámy). Podle typu sklízecího lisu vznikají velké slaměné balíky v podobě válců nebo kvádrů. Válcové balíky mají průměr obvykle 1,3 m až 1,5 m a délku 1,0 m až 1,3 m. Sláma bývá v kulatých balících stažena pomocí nylonové síťoviny. Cena kulatých balíků se pohybuje přibližně okolo 300 Kč/ks. Velké kvádrové balíky mohou dle typu sklízecího lisu být o rozměrech 800 mm × 900 mm × 2700 mm do 1200 mm × 900 mm × 2700 mm ( $\check{S} \times L \times V$ ). Velké kvádrové balíky se stahují omotáním pomocí nylonových šňůr. Dalším typem slaměných balíků jsou balíky malé. Ty se obvykle produkují v menším množství a na polích o menší ploše. Obvyklé rozměry malých slaměných balíků jsou 600 × 500 × 350 mm ( $\check{S} \times L \times V$ ). Malé slaměné balíky se pro výrobu drcené slámy obvykle nevyužívají, protože jsou náročnější, tedy dražší z důvodu zvýšených nároků na manipulaci a dopravu ve výrobě. Po svázání jsou slaměné balíky dopraveny do výroby drcené slámy nebo pelet, kde jsou uskladněny v krytých skladech.



Obr. 9 Schéma lisu na velké balíky slámy, zdroj: [www.himel.cz](http://www.himel.cz) [8]

Dalším pracovním krokem při výrobě drcené slámy je drcení. První částí výrobního procesu je příprava a příjem suroviny před drcením. Slaměné balíky jsou ze skladu transportovány na příjmové stoly nebo hrabicové dopravníky. Příjmovými stoly nebo dopravníky jsou balíky dopraveny do drtiče. Pro drcení slámy se nejčastěji využívají tlukadlové drtiče (šrotovníky). Před vstupem do šrotovníku dochází při výrobě nejprve k ručnímu odřezání nylonových šňůr nebo síťoviny a rozdružení lisované slámy. Před tlukadlovým drtičem se doporučuje ve výrobní lince umístit lapač těžkých částic (magnetický, gravitační). Lapač je schopen zachytit kovové i nekovové části, jako je například kamení. Zachycením nežádoucích částí dochází k mnohem menšímu opotřebení dalších výrobních zařízení. Následně je sláma dopravena do drtiče. Zde dochází pomocí drtiče nebo rozdružovače k rozebrání balíků na jednotlivá stébla, která jsou následně rozsekána na délku cca. 15 cm. Vzniklá řezanka se dále v tlukadlovém drtiči drtí na požadovanou frakci. Velikost výsledné frakce je regulována hrubostí síta ve spodní části drtiče.



Obr. 10 Drtič biomasy typ HIMEL STM, zdroj: [www.himel.cz](http://www.himel.cz) [8]





Obr. 11 Gravitační a mechanický lapač těžkých částí, zdroj: [www.himel.cz](http://www.himel.cz) [8]

Pro zajištění optimální vlhkosti drcené slámy (max. 17 %) je vhodné slámu dosušit. Hmotnostní vlhkost drcené slámy, která bude použita ve stavebních konstrukcích by měla být v rozmezí 8 % až 9 %. Sušení je energicky náročný proces a zvyšuje hodnotu vázané primární energie (*PEI*) nutné pro výrobu drcené slámy a také emise  $\text{CO}_2$  (*GWP*). Pro snížení energetické potřeby a emisí  $\text{CO}_2$  mohou sušiče využívat teplo vzniklé spalováním části sušeného materiálu. Drcenou slámu tak lze sušit horkým vzduchem ohřívaným přes tepelný výměník nebo přímo spaliny s hoření.

Ve spolupráci s firmou CIUR a.s. byla na výrobní lince určené pro výrobu celulózové tepelné izolace vyrobena v létě 2015 zkušební série rozvlákněné slámy. Oproti slámě drcené využívané jako podestýlka pro koně má rozvlákněná sláma menší rozměry jednotlivých částic. Některé vlastnosti drcené a rozvlákněné slámy se proto mohou lišit. Zkušební série rozvlákněné slámy vyrobené firmou CIUR a.s. byla určena pro provádění zkoušek s cílem zjistit její důležité parametry. U rozvlákněné slámy bude probíhat několik experimentálních měření s cílem stanovit součinitel prostupu tepla a třídu reakce na oheň. Po provedení zkoušek bude možné porovnat, zdali je mezi oběma druhy v uvedených parametrech rozdíl. Doposud bylo provedeno testování aplikace obou druhů slámy do konstrukce foukáním. Tedy technologií využívanou pro ostatní foukané izolace (rozvlákněná celulóza, dřevovláknno, minerální vlákna, apod.). Testování aplikace potvrdilo, že oba druhy je možno do stavebních konstrukcí aplikovat.

## 4. Současný stav problematiky

V následující kapitole jsou uvedeny informace o dosavadním stavu techniky v oblasti využití slámy ve stavebnictví. Technické informace dostupné v současné době můžeme pro potřeby disertační práce rozdělit do dvou samostatných skupin. V 1. skupině jsou uvedeny informace o vlastnostech slámy ve formě slaměných balíků. 2. skupina je zaměřena na popis současných znalostí o vlastnostech drcené slámy.

Vzhledem k faktu, že se drcená sláma v současné době standardně nevyužívá jako stavební materiál, jsou dostupné informace o technických vlastnostech velmi omezené. Z tohoto důvodu bude tato kapitola převážně obsahovat informace o vlastnostech stavebních konstrukcí ze slaměných balíků, které se již ve stavebnictví využívají. Drcená sláma i slaměné balíky jsou velmi podobné materiály a jejich vlastnosti by tedy měly být podobné. Ověření tohoto předpokladu je součástí a jedním z cílů této disertační práce.

### 4.1 Vlastnosti slámy ve formě slaměných balíků

Slaměné balíky za uplynulých deset let v tuzemském stavebnictví pomalu zdomácněly. Existuje celá řada staveb využívajících slaměné balíky a i relativně velká skupina firem, které se zabývají projektováním a realizací staveb ze slaměných balíků. Laická veřejnost i odborníci se v případě zájmu o stavění ze slámy mohou opřít o řadu dostupných informací. Technické informace nutné pro správný návrh a následnou realizaci lze najít v odborné literatuře i volně na internetu. V této kapitole je uveden souhrn dostupných informací o vlastnostech slaměných balíků a konstrukcí z nich. Informace jsou doplněny o popis konstrukčních systémů, které se obvykle pro stavby ze slámy používají.

#### 4.1.1 Tepelné technické parametry slaměných balíků

Základním tepelně technickým parametrem je hodnota součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ). Hodnota součinitele tepelné vodivosti slaměných balíků se nedá přesně stanovit. Sláma je nehomogenní materiál, každý slaměný balík má jinou skladbu a rozložení stébel. Součinitel tepelné vodivosti závisí také na vlhkosti, objemové hmotnosti a orientaci stébel. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti, které lze najít v odborné literatuře jsou uvedeny v tabulce Tab. 3.

Tab. 3 Hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  slaměných balíků [1], [10]

Zdroj	Teplota	Vlhkost	Objemová hmotnost	$\lambda$ - tepelný tok kolmo k vláknům	$\lambda$ - tepelný tok rovnoběžně s vlákny
	°C	%	kg.m <sup>-3</sup>	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Andersen [10]	-	-	-	0,05	0,082
ByogByg [10]	-	-	75	0,052	0,057
ByogByg [10]	-	-	90	0,056	0,06
Hause der zuk. [10]	-	-	100	0,038	
Christian [10]	-	-	62, 81	0,057	0,082
McCabe [10]	-	-	150	0,048	0,06
Sandia national [10]	-	-	90	0,05 – 0,06	0,05 – 0,06
Bautechnik inst. [10]	23	Max 15	90 – 120	0,044	0,067
Grmela [1]	20,6	14	70	0,052	0,063

V praxi lze pro návrh obvodových konstrukcí se slaměnými balíky využít hodnoty převzaté z Německého stavebního předpisu AbZ Z-23.11-1595 [11]. Ten uvádí hodnoty  $\lambda$  pro slaměné balíky o objemové hmotnosti  $\rho = 90 \text{ kg.m}^{-3}$  až  $110 \text{ kg.m}^{-3}$ . Pro tepelný tok kolmo k vláknům je hodnota  $\lambda = 0,052 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , pro tepelný tok rovnoběžně s vlákny  $\lambda = 0,08 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

#### 4. 1. 2 Akustické parametry konstrukcí ze slaměných balíků

Na rozdíl od řady informací o tepelně technických parametrech jsou informace o akustických parametrech slaměných konstrukcí velmi kusé a v odborném tisku lze najít pouze několik zdrojů. Slaměné balíky se využívají nejčastěji ve svislých konstrukcích dřevostaveb. Z tohoto důvodu je jedním z hlavních akustických parametrů laboratorní hodnota vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  (dB). V odborném tisku bylo uveřejněno několik výsledků akustických parametrů slaměných konstrukcí. Ty udávají hodnotu  $R_w$  v rozmezí  $43 \div 59,4 \text{ dB}$  [10]. Z uvedených informací však není úplně zřejmé, na jakých konstrukcích a za jakých podmínek byla akustická měření prováděna. V rámci projektu SGS SP2012/122 s názvem „Měření akustických a vlhkostrních parametrů slaměných konstrukcí“ bylo provedeno akustické měření zkušebního vzorku nenosné slaměné stěny s několika variantami povrchových úprav. Měření bylo provedeno ve zvukových komorách akustické laboratoře Fakulty stavební VUT v Brně. Konstrukce komor odpovídá normě ČSN EN ISO 10140-5 [12]. Zkoušený vzorek obvodové stěny byl zabudován mezi místností zdroje zvuku a příjmu zvuku. V komoře se zdrojem zvuku byl vybuzen ustálený zvuk se spojitým spektrem v pásmu od 100 do 5000 Hz [12]. Měří se střední hladiny hodnot akustického tlaku v obou

zkušebních komorách. Výsledky akustických měření laboratorní hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  (dB) měřených variant jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.

Tab. 4 Shrnutí výsledků akustických měření slaměných konstrukcí

Měřená varianta	Objemová hmotnost materiálu $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	Plošná hmotnost materiálu (kg.m <sup>-2</sup> )	Laboratorní hodnota vzduchové neprůzvučnosti $R_w$ (dB)
Slaměná stěna tl. 350 mm	90	31,5	28
Hliněná omítka vlhká tl. 25 mm Slaměná stěna tl. 350 mm	2000 90	50 31,5	35
Hliněná omítka suchá tl. 25 mm Slaměná stěna tl. 350 mm	1650 90	43 31,5	42
Hliněná omítka vlhká tl. 25 mm Slaměná stěna tl. 350 mm Vzduchová mezera tl. 40 mm Wolf PhoneStar Tri tl. 15 mm	2000 90 - 1350	50 31,5 - 14	57
Hliněná omítka suchá tl. 25 mm Slaměná stěna tl. 350 mm Vzduchová mezera tl. 40 mm Wolf PhoneStar Tri tl. 15 mm	1650 90 - 1350	43 31,5 - 14	57
Hliněná omítka suchá tl. 25 mm Slaměná stěna tl. 350 mm Vzduchová mezera tl. 40 mm Wolf PhoneStar Tri tl. 15 mm SDK desky tl. 12,5 mm	1650 90 - 1350 -	43 31,5 - 14 9,2	57
Hliněná omítka suchá tl. 25 mm Slaměná stěna tl. 350 mm Hliněná omítka suchá tl. 25 mm	1650 90 1650	43 31,5 43	54
Hliněná omítka suchá tl. 25 mm Slaměná stěna tl. 350 mm Vzduchová mezera tl. 40 mm Ekopanel tl. 58 mm	1650 90 - 379	43 31,5 - 22	57

#### 4. 1. 3 Požární parametry konstrukcí ze slaměných balíků

Požární odolnost a požární charakteristiky slaměných konstrukcí jsou často diskutovaným tématem. Obecně panuje přesvědčení, že slaměné konstrukce jsou velmi náchylné k požárům a velmi dobře hoří. Výsledky několika zkoušek a měření určených ke zjištění požárních vlastností slaměných konstrukcí ukazují, že slaměné konstrukce s vhodnou povrchovou úpravou dosahují výborných hodnot požární odolnosti. Požární zkoušky provedené na univerzitách ve Vídni a Mnichově prokázaly, že slaměné balíky s objemovou hmotností  $\rho = 90 \text{ kg.m}^{-3}$  až  $150 \text{ kg.m}^{-3}$  lze zařadit do kategorie B2 - normálně hořlavé z hlediska stupně hořlavosti a kategorie E, dle třídy reakce na oheň [1]. Aplikací povrchové úpravy (např. hliněná omítka, SDK obklad, vápenná omítka) na slaměnou stěnu lze dosáhnout hodnot požární odolnosti stavebních dílců F30 až F90 [11]. V rámci Projektu



1221420507: „Vybrané vlastnosti přírodních a dalších stavebních materiálů, stavebních prvků a budov“ byla vědeckým týmem Fakulty stavební ČVUT provedena série požárních zkoušek sedmi skladeb obvodových konstrukcí, z nichž u dvou bylo použito slaměných balíků. U skladby 3 (viz Obr. 13) byla v průběhu zkoušky na vnitřní požár dle normové křivky se svislým zatížením  $12,0 \text{ kN.m}^{-1}$  dosažena hodnota požární odolnosti *REI 120 DP3* [13]. U skladby 4a (viz Obr. 13) byla ověřovací zkouškou se svislým zatížením  $22,5 \text{ kN.m}^{-1}$  dosažena hodnota požární odolnosti *REI 60 DP3* [13].

#### 4. 2 Vlastnosti drcené slámy jako foukané tepelné izolace

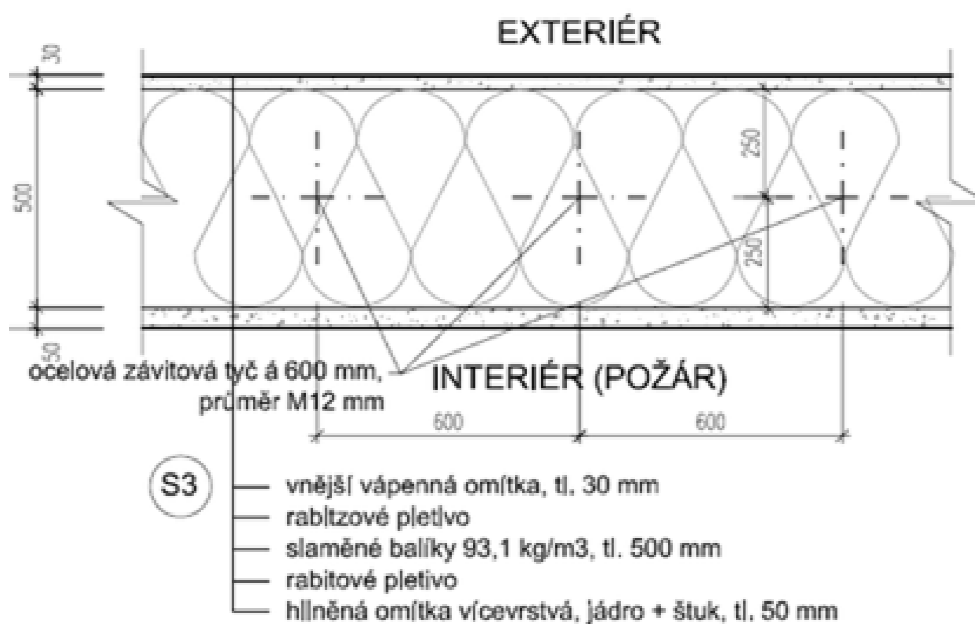
Jestliže při navrhování staveb ze slaměných balíků můžeme vycházet z řady technických dat a podkladů, pak při použití drcené slámy platí pravý opak. Drcená sláma (crushed straw, cutting straw) se jako stavební materiál obvykle nepoužívá, případně je její použití omezeno na několik ojedinělých případů. V zahraničním ani domácím odborném tisku nejsou uvedeny odkazy na odborné články, nebo výsledky výzkumů, které byly zaměřeny na vlastnosti drcené slámy. Dostupné informace se týkají především druhotného využití drcené slámy. Drcená sláma se v současné době ve stavebnictví využívá jen jako přísada nebo plnivo do hliněných omítek a cihel z nepálené hlíny. Vliv drcené slámy použité jako přísady do požárně izolačních cihel na mechanicko-fyzikální parametry je popsán v [14].



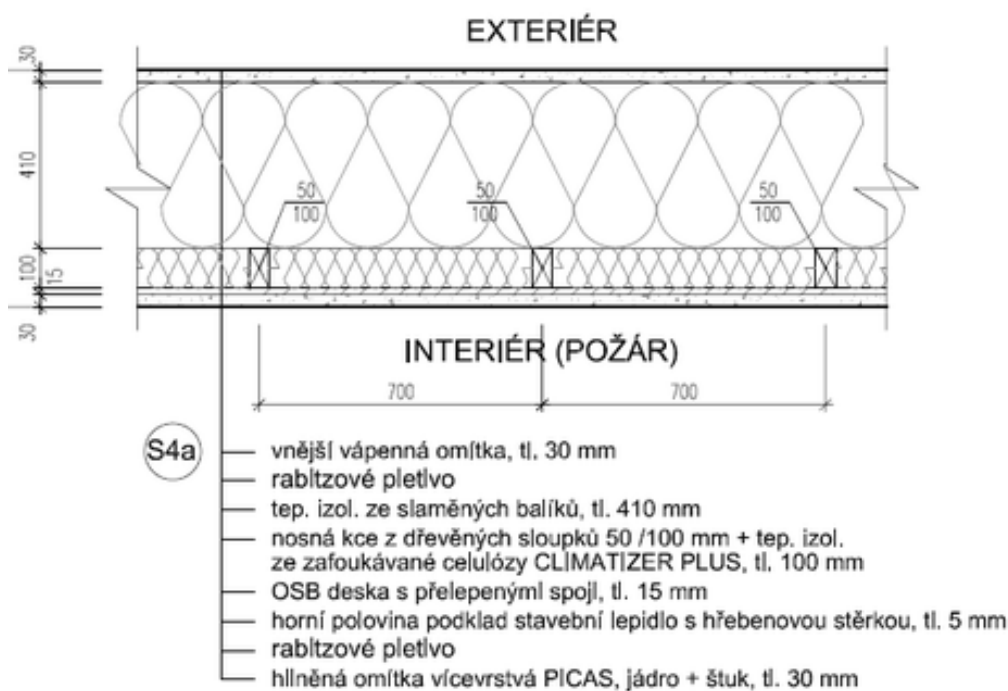
Obr. 12 Ukázka vzorků cihel s příměsí z drcené slámy [14]

Další možnosti využití drcené slámy jako plniva do hliněných omítek budou popsány v této disertační práci. Problémem při využití drcené slámy v praxi je také chybějící legislativa. Stanovení vlastností drcené slámy není definováno v žádné normě. V omezené míře můžeme využít dostupné normy pro slaměné balíky [11] případně normy [9] používané pro foukané izolace jako je například celulóza.

## SKLADBA 3



## SKLADBA 4a



Obr. 13 Skladby zkušebních vzorků slaměných konstrukcí pro požární zkoušky ČVUT, zdroj [www.tzb.info](http://www.tzb.info) [24]

Drcená sláma má největší předpoklady použití ve stavebnictví ve formě foukané tepelné izolace. Foukané izolace jsou moderní alternativou k dnes standardně využívaným tepelným izolacím ve formě desek či rohoží. Foukané izolace se aplikují foukáním pomocí aplikačního stroje. Foukané tepelné izolace se dodávají stlačené v balících o hmotnosti 10 kg až 25 kg podle druhu izolantu. Stlačení izolantu umožňuje efektivnější a ekonomičtější

dopravu na místo realizace zateplení. Při vlastní realizaci zateplení se pak obsah balíků vsype do aplikačního stroje (viz Obr. 14), kde je pomocí rotačního nože izolant rozdružen na malé části (viz Obr. 15).



Obr. 14 Drcená sláma umístěna do aplikačního stroje pro foukané izolace



Obr. 15 Spodní část bubnu aplikačního stroje s rotačními noži

Následně je rozdružená izolace dopravena pomocí tlaku vzduchu a hadicových rozvodů do konstrukce. Aplikační stroje lze nastavit s ohledem na druh konstrukce (obvodová stěna, podlaha, střecha, apod.) která se zafoukává a druhu materiálu tepelné izolace (celulóza, dřevovlákn, skelná vlákna, apod.). Nastavením stroje lze docílit optimální objemové hmotnosti, kterou musí izolant v konstrukci mít, aby nedocházelo k jeho sesedání. Jednou z výhod technologie foukaných izolací je minimum odpadů vzniklých při zateplování. Izolace se nemusí řezat a foukáním lze zateplit i těžko přístupná místa nebo složité stavební detaily. Před aplikací zateplení je ale nutné konstrukce stavebně připravit. Tepelné izolace se aplikují do uzavřených komor. Maximální rozměr komor, které lze v jednom technologickém kroku zafoukat současnými aplikačními stroji je cca. 2500 mm × 800 mm × 300 mm. Komory

větších rozměrů lze zafoukat, je ale nutno aplikovat izolant do každé poloviny komory zvlášť ve dvou technologických krocích. Z důvodu možnosti aplikovat izolant do uzavřených dutin jsou pro použití foukaným izolací optimální konstrukční systémy dřevostaveb, například lehké dřevěné skelety jako je systém „Two by Four“, případně systémy s dřevěnými nosníky tvaru I (např. *STEICO*, *LAG*). U těchto konstrukčních systémů nosné prvky (např. svislé sloupky, stropní a podlahové nosníky) rozdělují konstrukci na jednotlivé části. Po opláštění z vnitřní a vnější strany pak vzniknou uzavřené komory, do kterých je možno foukané tepelné izolace aplikovat. U všech dostupných dnes používaných foukaných izolací je ověřeno za jakých podmínek se mají do konstrukcí aplikovat. Výrobci mají určeno jak nastavit poměr vzduchu a transportovaného materiálu u aplikačního stroje, aby bylo dosaženo optimální objemové hmotnosti izolantů pro daný typ zafoukávané konstrukce. U drcené slámy tyto údaje doposud nebyly stanoveny. Pro její další využití bylo nutno ověřit, zdali je možno aplikovat drcenou slámu stejnou technologií jako ostatní foukané izolace. Ověření možnosti aplikovat drcenou slámu proběhlo v rámci projektu SGS SP2014/172 s názvem „*Reakce na oheň a sedavost přírodních foukaných tepelných izolací*“. Na půdě Fakulty stavební VŠB TUO byl uspořádán workshop, v rámci kterého byla provedena reálná zkouška zafoukání zkušebního segmentu vnější obvodové stěny dřevostavby drcenou slámou. Zkušební segment výšky 2,0 m, šířky 1,3 m a tloušťky 0,3 m je tvořen čtyřmi svislými nosníky *LAG* [25]. Opláštění tvoří OSB deska tl. 18 mm ze zadní strany a plexisklo z přední strany. Spodní a horní opláštění je vytvořeno z OSB desky. Plexisklo je z přední strany použito z důvodu možnosti vizuálního sledování průběhu aplikace foukané izolace, v tomto případě drcené slámy. Při aplikaci foukáním dochází tlakem vzduchu k velkému namáhání oplášťujících desek. Aby nedocházelo k jejich boulení je nutno provést důsledné kotvení kotvícími prvky, například vruty. Plexisklo bylo zajištěno proti boulení dřevěnými latěmi kotvenými vruty do *LAG* nosníků. Zkušební vzorek tvoří tři uzavřené komory. Dvě menší na bocích a jedna větší uprostřed. Prostřední komora má rozměry srovnatelné s rozměry, které se obvykle používají v praxi na reálných konstrukcích. Šířka komory je tedy 625 mm. Pro aplikaci izolantu se využívají otvory o průměru 11 cm. Boční komory se plní otvory v bočním opláštění. Hlavní komora se plní otvory v zadní stěně zkušebního segmentu. Aplikace drcené slámy do zkušebního segmentu byla provedena za pomoci aplikačního stroje *X-FLOC MINIFANT M99* (viz Obr. 15). Tento typ aplikačního stroje je schopen aplikovat až 500 kg izolantu za jednu hodinu a používá se pro aplikace menšího rozsahu. Aplikační stroj byl pro zkoušku zafoukání drcené slámy zapůjčen firmou CIUR, a.s..



Obr. 16 Aplikace drcené slámy do zkušebního segmentu

Cílem ověřovací aplikace drcené slámy bylo zjistit, jakým způsobem se bude materiál v konstrukci chovat při aplikaci a zdali se při aplikaci zaplní všechna místa. Takto lze zabránit vzniku nežádoucích tepelných mostů. Po aplikaci izolace do zkušebního segmentu byla demontována zadní stěna opláštění a vizuálně proběhla kontrola kvality zafoukání. V průběhu aplikace došlo k zaplnění hlavních dutin v konstrukci. Nedošlo však k zaplnění složitých detailů, jako například mezery ve stojině *LAG* nosníků (viz Obr. 17). Aby se v reálných podmínkách zabránilo vzniku tepelných mostů v kritických místech, musela by se konstrukce *LAG* nosníků upravit a mezeru ve stojinách zateplit přířezem tepelné izolace. Dalším cílem bylo stanovit, na jakou objemovou hmotnost je možno použitou technologií drcenou slámu do konstrukce zafoukat. Objemová hmotnost u foukaných izolanů se kontroluje pomocí měrného válce. Ten se po aplikaci izolanu zasune aplikačním otvorem přes celou tloušťku konstrukce. V měrném válci zůstane izolan, který se následně zváží. Podle rozdílu váhy prázdného a plného válce se určí hmotnost izolanu. Přepočtem hmotnosti izolanu a tloušťky konstrukce se určí objemová hmotnost aplikované izolace. V rámci ověřovací aplikace drcené slámy byla stanovena objemová hmotnost izolanu  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ . Tato objemová hmotnost by měla zajišťovat, že v průběhu času nebude u drcené slámy docházet k sesedání. Problematika sedavosti drcené slámy je popsána v následující kapitole. Provedená zkouška potvrdila, že je možno drcenou slámu aplikovat do konstrukcí foukáním. Je však ještě nutno upravit technologii aplikace, zejména stanovit poměr množství vzduchu a transportovaného materiálu. Také by bylo nutno ověřit kvalitu zafoukání i u dalších složitějších konstrukčních prvků a detailů.





Obr. 17 Zkušební vzorek po demontáži zadního opláštění, mezery mezi sloupky nejsou zaplněny izolací



Obr. 18 Měření objemové hmotnosti drcené slámy ve zkušebním vzorku měrným válcem

#### 4. 2. 1 Sedání foukané izolace z drcené slámy

Sedání  $s_d$  (%) je jedním z důležitých parametrů hodnocených u foukaných izolací. Jedná se o zmenšení výšky aplikované izolace vyjádřené v procentech (%). Při aplikaci foukaných tepelných izolací je vyžadováno, aby sesedání bylo co možná nejnížší nebo nulové. Pokud by u foukaných izolací docházelo k postupnému sesedání vznikaly by v konstrukcích dutiny nevyplněné tepelnou izolací. Takovéto dutiny vytvářejí tepelné mosty a v některých případech by v nich mohlo docházet ke kondenzaci vodních par. Dalším důsledkem nedokonale zateplených konstrukcí může být prochlazování vnitřních povrchů v místech tepelných mostů. Na těchto místech může docházet k povrchové kondenzaci vodní páry, vlhnutí a tvorbě plísní. Nevýhodou foukaných izolací je, že nelze vizuálně kontrolovat, zdali je zateplovaná konstrukce dokonale vyplněna izolantem a že nedochází k postupnému sesedání izolace v průběhu života stavby. Obava, že foukaná izolace bude časem v konstrukci sesedat je u velké části laické i odborné veřejnosti velmi častá. Omezit sesedání foukaných izolací se v praxi dá dodržením požadavků výrobců jednotlivých druhů foukaných izolací na objemovou hmotnost aplikované izolace. Právě dosažením požadované objemové hmotnosti aplikované izolace lze sesedání výrazně omezit nebo mu úplně zabránit. Při aplikaci foukaných izolací se výsledná objemová hmotnost dosahuje nastavením aplikačního stroje (poměr vzduchu a transportovaného materiálu). Pro dosažení větší výsledné objemové hmotnosti aplikované izolace se u aplikačního stroje nastaví větší množství

vzduchu na menší množství transportovaného materiálu. Dalším důležitým krokem pro minimalizaci sesedání je odborné provedení vlastní aplikace izolace do konstrukce. Zejména vysoké konstrukce (například stěny) je nutno plnit aplikační hadicí po úsecích. Hadice se zasune do nejnižšího místa, tedy až na dno plněné dutiny. Aplikační stroj se uvede do chodu a izolant se tlakem vzduchu dopravuje do dutiny, kterou postupně vyplňuje. Poté, co izolace dosáhne určité výšky, už tlak vzduchu není schopen dopravit do plněného místa další materiál. V této chvíli dochází k tzv. hutnění izolace. Po zhutnění vrstvy izolace se aplikační hadice vysune asi o půl metru nad vyplněný prostor a proces plnění a hutnění se opakuje.

U foukaných izolací se objemová hmotnost nastavuje podle typu zafoukávané konstrukce. Svislé a šikmé konstrukce vyžadují větší objemovou hmotnost, vodorovné konstrukce vyžadují objemovou hmotnost izolantu menší. Objemové hmotnosti pro daný typ foukané izolace a typu zafoukávané konstrukce jsou uvedeny v Tab. 5. Výrobce izolace musí objemovou hmotnost určit na základě vhodné zkušební metody laboratorními zkouškami dle příslušné metodiky. Pro drcenou slámu nebyla doposud vytvořena žádná zkušební metodika. Lze ale předpokládat, že by se dala využít metodika určená pro izolace z rozvlákněné celulózy uvedená v normě [9].

Tab. 5 Doporučené objemové hmotnosti foukaných izolací [9]

Materiál foukané izolace	Objemová hmotnost izolantu podle typu zafoukávané konstrukce (kg.m <sup>-3</sup> )	
	Svislé a šikmé dutiny	Vodorovné dutiny
Rozvlákněná celulóza	60 až 80	30 - 45
Minerální vláknitá izolace	70 až 110	50 až 60
Izolace ze skelných vláken	40 až 60	25 až 34
Foukaný polystyren	11 až 18	
Dřevovláknitá izolace	38 až 45	32 až 38
Drcená sláma	90 až 110	80 až 90

V kapitole 4.2.2 normy [9] jsou uvedeny třídy sedání izolace podle typu konstrukce do které je izolace plněna. Norma rozděluje konstrukce podle použití izolace na dva typy. Prvním typem je použití izolace ve vodorovných konstrukcích, podlahách a podkroví. Druhým typem jsou konstrukce dutin, rámové konstrukce a dutinové stěny. Norma dále rozděluje foukané izolace podle sedání do tříd (třída *SH* pro první typ konstrukce, třída *SC*

pro druhý typ konstrukce). Z požadavků normy [9] pro jednotlivé třídy a konstrukce vyplývá, že hodnota sedání izolantu třídy SC musí být  $\leq 1 \%$  a je stanovena zkouškou sedání zkušební krabice při vibracích. Hodnota sedání  $s_d$  se pak stanoví ze vztahu:

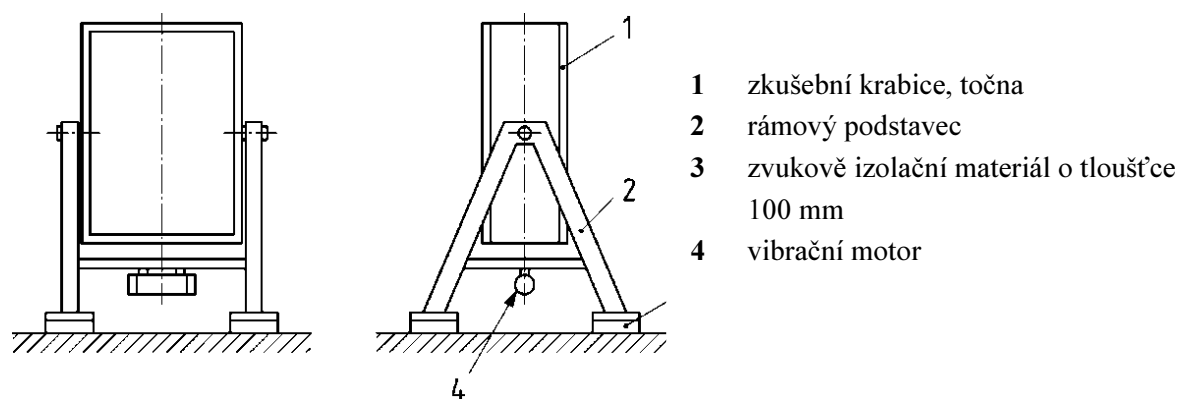
$$s_d = \frac{s_2}{H} \times 100 \quad (1)$$

Kde je

$s_d$ [%]	sedání zkoušeného materiálu,
$s_2$ [mm]	změřená hloubka k izolačnímu materiálu po sedání,
$H$ [mm]	výška dutiny zkušební vzorku.

Zkouška sedání při vibracích pro celulózové izolace se provádí pomocí zkušební krabice, do které je aplikován zkoušený izolant. Zkušební krabice by měla být vyrobena z materiálu, který bude používán v praxi. Lze ale využít zkušební krabici zhotovenou z překližkových desek tl. 16 mm. Výška zkušební krabice je nejméně 2300 mm. Minimální hloubka dutina je 100 mm, maximální pak 240 mm. Hloubka (šířka) dutiny by se měla shodovat s rozměry dutin, která budou využívány v praxi. Šířka dutiny musí být nejméně 600 mm a maximálně 800 mm. Zkušební krabice (viz Obr. 19) je před vlastní zkouškou naplněna zkoušeným materiálem. Plnění probíhá stejnou technologií jako je tomu v praxi, tedy aplikačním přístrojem. K vyvození vibrací se používá vibrační motor na kterém je umístěna zkušební krabice. Rychlost rotace vibračního motoru musí být okolo 2800/min. Frekvence vibrací mají být v rozmezí 45/s až 50/s. Před zkouškou se zaznamená výška horní hrany izolace pomocí přítlačné desky a měřicího pásma. Vibrační motor se uvede do chodu a nechá se působit nejméně 0,5 hod. Dalším krokem je stanovení hodnoty  $s_2$  (mm), tedy hloubky od horní hrany zkušební krabice k izolačnímu materiálu. Pokud došlo k sedání, změní se objemová hmotnost zkoušeného materiálu. Zkouška se opakuje, dokud již nedojde k žádnému sedání.





Obr. 19 Schéma zkušebního zařízení pro měření sedání foukané izolace z celulózy [9]

V rámci výzkumu vlastností drcené slámy bylo v roce 2014 v laboratoři stavebních hmot Fakulty stavební VŠB - TUO provedeno experimentální měření sedání s cílem stanovit objemovou hmotnost, při které nebude v konstrukcích druhé třídy *SC* [9] (konstrukce dutin, rámové konstrukce a dutinové stěny) docházet k sedání. Hodnota objemové hmotnosti je velmi důležitá a byla použita i pro výzkum požárních charakteristik drcené slámy a měření součinitele tepelné vodivosti. V roce 2014 ještě nebyla k dispozici norma pro foukané izolace z celulózy [9]. Pro experimentální měření sedavosti drcené slámy byla tedy vytvořena vlastní necertifikovaná metodika. Princip měření byl ale obdobný jako u celulózových izolací. Základním prvkem byla zkušební nádoba a přístroj vyvolující vibrace. Zkušební nádoba ve tvaru kvádra byla vyrobena z OSB desek tl. 15 mm (viz Obr. 20). Výška nádoby byla 1,015 m. Vnitřní (světlé) rozměry zkušební nádoby byly  $0,25\text{ m} \times 0,25\text{ m} \times 1\text{ m}$ . Vnitřní objem zkušební nádoby byl tedy  $0,0625\text{ m}^3$ . K vyvození vibrací byl používán vibrační stůl pro hutnění betonové směsi. Před provedením zkoušky sedavosti byla zkušební nádoba uchycena na vibrační stůl. Následně byla nádoba ručně plněna drcenou slámou. Plnění izolace aplikačním strojem nebylo možné, protože laboratoř stavebních hmot tímto zařízením nedisponuje. Množství drcené slámy která byla plněna do zkušební nádoby bylo odváženo podle objemové hmotnosti, která byla měřena. Celkem bylo provedeno sedm zkoušek pro drcenou slámu o objemové hmotnosti  $90\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  až  $120\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (vždy po  $5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Měření bylo provedeno v osmi cyklech. Prvních šest cyklů byla drcená sláma vystavena vibracím bez dodatečného přitížení. Délka vibrací u jednotlivých cyklů byla vždy 20 s. V sedmém cyklu byl vzorek izolace zatížen závažím o hmotnosti 1 kg a rozměrech  $0,25\text{ m} \times 0,25\text{ m}$ . V osmém cyklu bylo na vzorku ponecháno závaží a byl vystaven vibracím po dobu 60 s. Vzdálenost horní hrany izolace od okraje zkušební nádoby  $s_2(\text{mm})$  byla měřena ve středu každé ze čtyř stran nádoby (viz Obr. 24). Hodnoty sesednutí  $s_2(\text{mm})$  uvedené v Tab. 6 byly

vypočítány jako aritmetický průměr ze čtyř naměřených hodnot. Míry sednutí drcené slámy během zkoušky sedání je graficky znázorněna v grafu Graf. 2.

Tab. 6 Naměřené hodnoty sednutí drcené slámy v průběhu zkoušky sedání

Objemová hmotnost $\rho_t$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cykly měření sednutí drcené slámy $s_2$ (mm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
90	139	149	154	155	159	162	164	177,
95	100	109	115	117	121	121	121	137
100	65	72	77	79	82	86	86	100
105	50	57	62	65	67	69	70	79
110	22	27	30	36	41	45	45	57
115	12	17	17	17	17	17	17	35
120	0	0	0	0	0	0	0	0

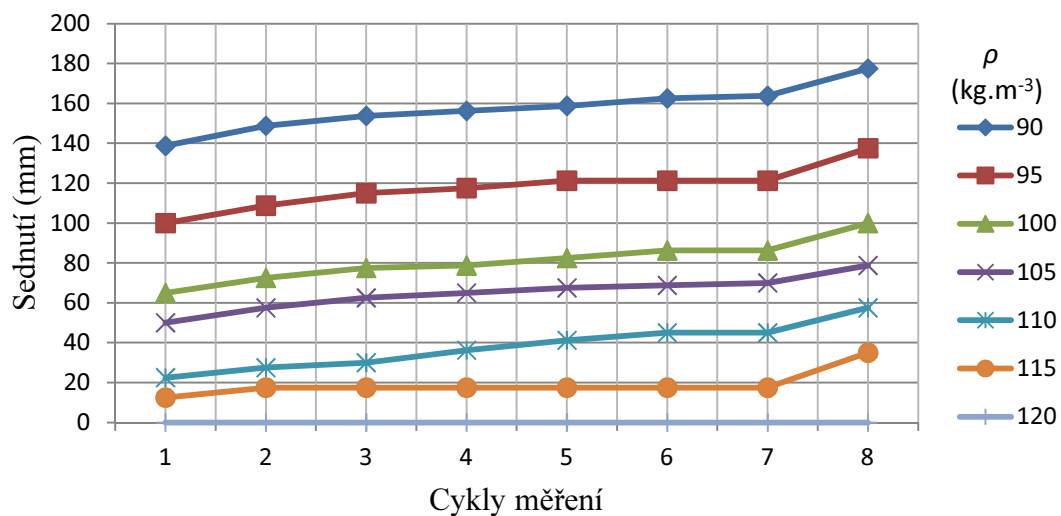
Tab. 7 Procentuální vyjádření hodnoty sedání drcené slámy

Objemová hmotnost $\rho_t$ (kg/m <sup>3</sup> )	Hodnota sedání pro jednotlivé cykly měření $s_d$ (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
90	13,9	14,9	15,4	15,6	15,9	16,3	16,4	17,8
95	10,0	10,9	11,5	11,8	12,1	12,1	12,1	13,8
100	6,5	7,3	7,8	7,9	8,3	8,6	8,6	10,0
105	5,0	5,8	6,3	6,5	6,8	6,9	7,0	7,9
110	2,3	2,8	3,0	3,6	4,1	4,5	4,5	5,8
115	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3,5
120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Z výsledků experimentální zkoušky sedavosti drcené slámy je možné stanovit objemovou hmotnost izolantu, kterou je potřeba při aplikaci do stavebních konstrukcí dosáhnout aby nedocházelo k sesedání a vzniku nežádoucích tepelných mostů. Drcená sláma aplikovaná do svislých dutin (např. obvodové stěny) by měla být aplikována na objemovou hmotnost minimálně 110 kg.m<sup>-3</sup>. Tuto hodnotu můžeme porovnat s hodnotou, které byla naměřena při testovací aplikaci drcené slámy do zkušebního segmentu obvodové stěny dřevostavby popsané v předchozí kapitole (viz Obr. 16, Obr. 17). Při testovací aplikaci byla naměřena objemová hmotnost aplikované drcené slámy 90 kg.m<sup>-3</sup>. Dle výsledků měření sedavosti uvedených v Tab. 6 je zřejmé, že objemová hmotnost drcené slámy 90 kg.m<sup>-3</sup> nezaručuje nulové sesednutí. Ve spolupráci s firmou CIUR, a.s. se na rok 2016 plánuje provedení několika testovacích aplikací drcené slámy do zkušebních segmentů větších rozměrů a rozsáhlejší ověření sedavosti. Cílem je otestovat aplikační stroje, zdali budou

schopny zafoukat drcenou slámu do konstrukcí na větší objemové hmotnosti a dále přesněji stanovit hodnotu sedavosti.

Graf. 2 Grafické znázornění sednutí drcené slámy



Obr. 20 Zkušební nádoba pro zkoušku sedání drcené slámy umístěná na vibračním stole



Obr. 21 Měření sednutí drcené slámy po každém měřicím cyklu

## 5. Požární charakteristiky drcené slámy

Požární charakteristiky stavebních materiálů hrají podstatnou roli při navrhování staveb. U staveb, které využívají přírodní (organické) stavební materiály je otázka požární odolnosti složitější, než je tomu například u staveb zděných. Požární vlastnosti přírodních materiálů jsou obvykle v porovnání s „klasickými“ materiály horší. Dodržet požadavky požární bezpečnosti (požární odolnost stavebních konstrukcí) často lze, jen při použití nehořlavých protipožárních konstrukcí (SDK obklady, apod.). U stavebních konstrukcí se z hlediska požární bezpečnosti požaduje, aby měly schopnost maximálně omezit riziko šíření požáru a zabránit ztrátám na životech a zdraví osob, zvířat a majetku v případě požáru [15]. Požární vlastnosti stavebních konstrukcí jsou podle české legislativy charakterizovány hodnotou *REI* (min). U stavebních výrobků se pro klasifikaci jejich požárních parametrů využívá zatřídění dle třídy reakce na oheň. Třída reakce na oheň ukazuje, jakým způsobem výrobek či materiál přispívá k rozvoji a šíření požárů. Dalším kritériem pro zatřídění stavebních výrobků podle třídy reakce na oheň je množství energie, kterou výrobek při hoření uvolňuje, vývin kouře a výskyt hořících kapek. Zatřídění stavebních výrobků a materiálů, mezi které drcená sláma patří podle reakce na oheň, je nutno provést pouze na základě série zkoušek v akreditovaných požárních laboratořích. Samotné požární zkoušky musí být provedeny podle certifikovaného postupu, který je uveden v příslušných normách. Základní požadavky na požární bezpečnost staveb vychází z platných právních předpisů jednotlivých zemí. V rámci Evropské unie (dále jen “EU”) se zavádí postupná harmonizace požadavků (tzv. EU classification system) na materiály a stavební prvky. Zavádění probíhá vydáváním harmonizovaných dokumentů pro sjednocení požadavků na území EU, které přebírají i další státy Evropy. Velký význam to má zejména pro uvádění výrobků na trh EU, kdy příslušná evropská norma udává přesný postup zkoušek daného prvku tak, aby mohl být uveden na trh, ve kterékoliv zemi EU. Jednotlivé harmonizované normy státy EU zavádějí do svých legislativních dokumentů, kdy je text normy přeložen do příslušného jazyka. Například EN 13501-2 *Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using test data from resistance fire tests, excluding ventilation services tests* je zaváděna jako ČSN EN 13501-2 [16]. Základní požadavky z hlediska požární bezpečnosti stavebních konstrukcí výrobků a materiálů jsou uvedeny v ČSN 73 0802 [18] a ČSN 73 0804 [19]. Projektové normy pak určují specifické požadavky pro dané skupiny staveb. Další požadavky jsou pak uvedeny v ČSN 73 0810 [20], ČSN 73 082 [21], ČSN EN 1991-1-2 [22] a ČSN EN 1995-1-2 [23].

## 5. 1 Třída reakce na oheň stavebních materiálů a výrobků

U stavebních výrobků se pro klasifikaci požárních parametrů využívá zatřídění dle třídy reakce na oheň. Třída reakce na oheň stavebního materiálu ukazuje, jakým způsobem výrobek přispívá k rozvoji a šíření požárů. Dalším kritériem je množství energie, kterou výrobek při hoření uvolňuje. Postup pro zatřídění stavebních výrobků dle reakce na oheň je uveden v ČSN EN 13501-1 +A1 [16] a pro stavební výrobky se výrobky zatřídí do tříd A1, A2, B, C, D, E, F, pro podlahy  $A_{fl}$  –  $F_{fl}$ , pro tepelné izolace rozvodů  $A_{1l}$  –  $F_l$ . Popis a značení jednotlivých tříd je uveden v tabulce Tab. 8.

Tab. 8 Třída reakce na oheň stavebních výrobků dle ČSN EN 13501-1 +A1 [16]

Třída	Charakteristika	Příklad
A1	Výrobky třídy A1 nebudou přispívat k požáru v žádném jeho stádiu, včetně plně rozvinutého požáru. Z tohoto důvodu jsou automaticky považovány za vyhovující všem požadavkům pro všechny nižší třídy.	minerální vlna (skelná izolační role Isover Domo, izolační deska z kamenné vlny, ROCKWOOL Monrock MAX E) pěnové sklo (izolace Foamglas), keramika, cement, vláknocement, vápno
A2	Vyhovují stejným kritériím EN 13823, jako pro třídu B. Kromě toho nebudou tyto výrobky za podmínek plně rozvinutého požáru významně přispívat ke zvýšení požárního zatížení ani dalšímu růstu požáru.	sádrokartonové nebo sádrovláknité desky
B	Jako třída C ale vyhovují přísnějším požadavkům.	dřevocementová izolační deska - TEKTALAN E-31
C	Jako třída D ale vyhovují přísnějším požadavkům. Navíc při tepelném působení jednotlivého hořícího předmětu vykazují omezení rozšíření plamene.	celulózová izolační hmota - CIUR a.s. CLIMATIZER PLUS
D	Výrobky vyhovují kritériím pro třídu E schopné odolávat působení malého plamene. Kromě toho jsou také schopny odolat působení tepla od jednotlivého hořícího předmětu za podstatného zpoždění a omezení uvolňování tepla.	OSB desky, překližkové desky, třískové desky, konstrukční dřevo (rostlé, lepené)
E	Výrobky schopné odolávat působení malého plamene po krátký časový interval bez významného rozšíření.	dřevocementová izolační deska – HERATEKTA C-3, dřevovláknité tepelné izolace
F	Výrobky, pro které nebyla zjištěna žádná třída, nemohou být klasifikované do žádné ze tříd A1, A2, B, C, D, E, F.	izolační pás z pěnového polyetyleny - MIRELON®: základní provedení

Zatřídění stavebních výrobků do jednotlivých tříd se provádí na základě požárních zkoušek. Požárními zkouškami se stanoví mezní hodnoty ukazatelů charakteristik pro jednotlivé třídy reakce na oheň. Pro každou z tříd je stanovena konkrétní požární zkouška. Konkrétní typ požárních zkoušek pro danou třídu reakce na oheň je uveden v tabulce Tab. 9.

Tab. 9 Zkušební metody pro dané třídy reakce na oheň [16]

Metoda	Popis	Norma	Třída reakce na oheň
Zkouška nehořlavosti	Určování výrobků, které nebudou přispívat nebo budou přispívat pouze nevýznamně k požáru, a to bez ohledu na konečné použití.	ČSN EN ISO 1182	A1, A2, A1 <sub>fl</sub> , A2 <sub>fl</sub> , A1 <sub>L</sub> , A2 <sub>L</sub>
Stanovení spalného tepla	Pomocí této zkoušky se stanoví maximální množství uvolněného tepla při úplném shoření výrobku, a to bez ohledu na konečné použití.	ČSN EN ISO 1716	A1, A2, A1 <sub>fl</sub> , A2 <sub>fl</sub> , A1 <sub>L</sub> , A2 <sub>L</sub>
Zkouška jednotlivým hořícím předmětem	Hodnotí se příspěvek výrobku k rozvoji požáru, pokud je tento výrobek vystaven tepelnému účinku dopovídající jednotlivému hořícímu předmětu v rohu místnosti zkoušeného výrobku.	ČSN EN 13823	A2, A2 <sub>L</sub> , B, B <sub>L</sub> , C, C <sub>L</sub> , D, D <sub>L</sub>
Zkouška zápalnosti	Touto zkouškou se stanovuje zápalnost výrobku vystaveného působení malého plamene.	ČSN EN ISO 11925-2	B, C, D, E, B <sub>fl</sub> , C <sub>fl</sub> , B <sub>L</sub> , C <sub>L</sub> , D <sub>L</sub> , E <sub>L</sub>
Stanovení chování podlahových krytin při hoření užitím zdroje sálavého tepla	Zkouškou se stanovuje kritický tepelný tok pod hodnotu, při které se již plameny nešíří po vodorovném povrchu.	ČSN EN ISO 9239-1	A2 <sub>FL</sub> , B <sub>fl</sub> , C <sub>fl</sub> , D <sub>fl</sub>

## 5.2 Doplnková klasifikace třídy reakce na oheň podle vývinu kouře

Doplňková klasifikace stavebních výrobků podle vývinu kouře charakterizuje množství a rychlost tvorby kouře v podmínkách požáru. Pouze výrobky klasifikované A2, B, C, D získávají tuto doplňkovou klasifikaci. Výrobky s klasifikací třídy reakce na oheň A1 kouř téměř nevytvářejí a výrobky třídy E nebo F ho vytvářejí velice mnoho. Třídy vývinu kouře se značí s1, s2 a s3. Číslo značí tvorbu kouře. Čím vyšší číslo, tím větší vývin kouře (Tab. 10). Stanovení doplňkové klasifikace podle vývinu kouře se stanovuje podle požadavků stanovených v ČSN EN 13501-1 [16] a ČSN EN 13823 [32].

Tab. 10 Doplnková klasifikace podle vývinu kouře [31]

Třída	Charakteristika
s1	téměř bez kouře
s2	střední emise kouře
s3	intenzivní emise kouře

### 5.3 Doplnková klasifikace třídy reakce na oheň podle plamenně hořících kapek

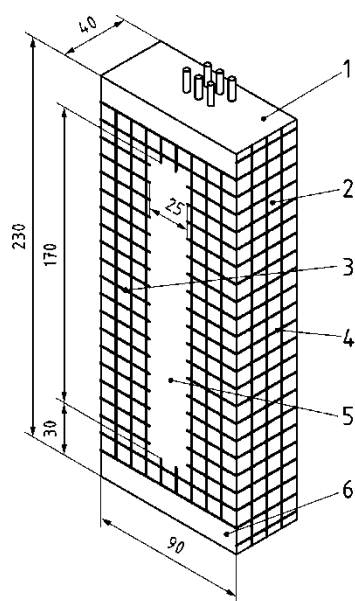
Stavební výrobky *A2*, *B*, *C*, *D* a *E* získávají doplňkovou klasifikaci týkající se tvorby plamenně hořících kapek. Tyto částice mohou způsobovat další šíření požáru a popáleniny na kůži a jiná zranění. Třídy podle výskytu plamenně hořících kapek se značí *d0*, *d1* a *d2*. Číslo značí vznik plamenně hořících kapek nebo částic. Čím vyšší číslo, tím větší množství vzniku plamenně hořících částic (Tab. 11). Stanovení doplňkové klasifikace podle plamenně hořících kapek se stanovuje podle požadavků stanovených v ČSN EN 13501 – 1 [16] a ČSN EN 13823 + A1 [32].

Tab. 11 Doplnková klasifikace podle plamenně hořících kapek [31]

Třída	Charakteristika
<i>d0</i>	nevznikají žádné plamenně hořící kapky
<i>d1</i>	vzniká omezené množství - málo plamenně hořících kapek
<i>d2</i>	vzniká větší množství kapek - mnoho plamenně hořících kapek, které mohou způsobit popáleniny kůže nebo šíření ohně

### 5.4 Zkouška zápalnosti drcené slámy

Zkouška zápalnosti je prvním krokem při stanovení třídy reakce na oheň stavebních výrobků. Zkouškou se stanoví zápalnost stavebního výrobku působením malého plamene. Zkouška zápalnosti stavebních výrobků probíhá v požárním boxu, kde je vzorek upnut ve svislé poloze a podroben zkoušce. Při zkoušce sypkých materiálů (foukané tepelné izolace z celulózy, dřevovlákná, apod.) se vzorky umístí do zkušební formy z drátěného pletiva. V příloze C normy [9] určené pro tepelné izolace z celulózy je znázorněna zkušební forma, do které se testovaný materiál aplikuje. Zkušební forma má takové rozměry, aby byl rozměr vzorku 180 mm × 90 mm × 40 mm. Po naplnění je Forma ve svislé poloze upnuta do zkušební pece, kde dojde k vlastní požární zkoušce. 40 mm nad spodním okrajem formy je pod úhlem 45° umístěn hořák s malým normovým plamenem. Hořák Při zkoušce se hořák posouvá ke vzorku, až se plamen dotkne určeného dotykového bodu. Plamen se nechá působit 15 sekund a poté se oddálí. Hodnotí se rozšíření plamene po povrchu vzorku do vzdálenosti 150 mm svisle nahoru od místa dotyku. Ve výsledcích zkoušky je uvedeno, zdali se plamen po vzorku rozšířil (ANO) či nerozšířil (NE). Dále se zaznamenává čas, za který k rozšíření plamene došlo. Zkouška se provádí na pěti zkušebních vzorcích.



- 1 Dřevěný hranol (dub), 90 mm x 40 mm x 25 mm
- 2 Zadní panel s plnicím otvorem (není zakresleno)
- 3 Boční panel (není zakresleno)
- 4 drátěné pletivo, průměr drátu 0,9 mm, mřížka 9,6 mm x 9,6 mm
- 5 Otvor pro přímé působení plamene, 170 mm x 25 mm
- 6 Dřevěný hranol (dub) 90 mm x 40 mm x 25 mm

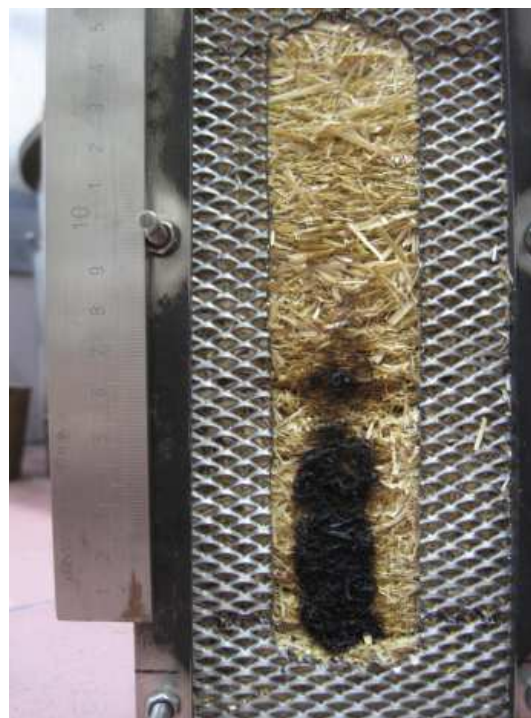
Obr. 22 Schéma zkušební formy pro měření třídy reakce na oheň celulózových izolací [9]

Prvním krokem při zkoušce zápalnosti malým zdrojem plamene bylo ověření vhodnosti zkušební formy určené pro zkoušení celulózových izolací. Bylo zjištěno, že zkušební forma znázorněná v normě [9] pro zkoušení drcené slámy není vhodná. Pletivo, ze kterého je forma vyrobena má nevhodnou velikost ok. Oka o rozměrech 9,6 mm × 9,6 mm jsou pro drcenou slámu příliš velká a sláma při plnění vypadává. Musela být proto navržena a vyrobena forma nová, která vyhovuje vlastnostem drcené slámy. Na výrobu nové zkušební formy bylo použito pletivo o rozměrech ok 3 mm × 3 mm. Po testování nové zkušební formy byla provedena vlastní zkouška zápalnosti. Požární zkoušky drcené slámy probíhaly v akreditované zkušební laboratoři ITC Zlín. Pro zkoušky byla použita drcená sláma vyráběná jako podestýlka pro koně. Sláma je přírodní, bez jakýchkoli chemických přísad. Zkouška zápalnosti byla provedena na pěti vzorcích drcené slámy o objemové hmotnosti 90 kg.m<sup>-3</sup>. Objemová hmotnost 90 kg.m<sup>-3</sup> byla zvolena na základě zkoušek sedání drcené slámy. Hodnota sedání ukazuje, zdali u izolantu v konstrukci dojde v průběhu času k sedání. Sedání izolantu je v konstrukcích nežádoucí a hodnota sedání by tedy měla být nulová. Obecně platí, že čím je větší objemová hmotnost izolantu v konstrukci, tím je hodnota sedání menší. Pro drcenou slámu není stanovena metodika měření sedání. Byla tedy provedena experimentální zkouška sedavosti drcené slámy pomocí setřásacího stolu (setřásací stůl pro diagnostiku betonu) a zkušební nádoby. Výsledkem zkoušky sedání byla objemová hmotnost izolantu (drcené slámy) u které při aplikaci do konstrukce nedochází k sedání.





Obr. 23: Zkušební vzorek drcené slámy v průběhu zkoušky zápalnosti



Obr. 24: Zkušební vzorek drcené slámy po zkoušce zápalnosti

Na základě zkoušené objemové hmotnosti a objemu zkušební klece byla stanovena hmotnost zkušebního vzorku drcené slámy 58,3 g. Drcená sláma byla po odvážení do zkušební formy plněna ručně. Následně byla provedena zkouška zápalnosti podle postupu uvedeného v této kapitole na pěti zkušebních vzorcích. Všechny zkušební vzorky splnily ve všech bodech požadavky uvedené v kapitole 4.2.3 normy [21]. Během zkoušky došlo k zapálení vzorku oranžovým plamenem (viz Obr. 23). Po oddálení hořáku plamen na povrchu vzorku ihned uhasínal. Šíření plamene se po oddálení hořáku zastavilo 6,5 cm od spodní hranice (viz Obr. 24). Během zkoušky neodpadávaly žádné hořící zbytky ani částice. Zkušební forma a průběh požární zkoušky zápalnosti je znázorněn na obrázku. Výsledky zkoušky zápalnosti drcené slámy jsou uvedeny v Tab. 12.

Tab. 12 Výsledky zkoušky zápalnosti drcené slámy

Měřená veličina	jednotky	Výsledky měření zkušebního tělesa č.				
		1	2	3	4	5
Zapálení vzorku <i>Ano/Ne</i>	-	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Dopsažení plamene po značku ve vzdálenosti 150 mm <i>Ano/Ne</i>	-	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Doba hoření dráhy 150 mm	S	-	-	-	-	-

## 5. 5 Zkouška zápalnosti směsi drcené slámy a rozvlákněné celulózy

Výroba celulózových izolací vyžaduje velké množství recyklovaného papíru. Na trhu dochází ke zvyšování ceny vstupních surovin a to má dopad i na rostoucí cenu celulózových tepelných izolací. Možným řešením, jak obrátit tento negativní trend je přidat k celulóze jiný, ekologický a ekonomicky zajímavý materiál. Perspektivní se jeví využití drcené slámy. Výsledná výplňová izolace vzniká doplněním průmyslově vyráběné celulózové izolace o slaměnou řezanku. Základním přínosem je náhrada 50 % směsi celulózy přírodním ekonomicky výhodnějším materiálem. Celulózo-slámová izolace se podobně jako drcená sláma ve stavebnictví doposud nevyužívá. Výsledky zkoušek zaměřených na stanovení vybraných parametrů potvrzují veliký potenciál celulózo-slámové tepelné izolace. Izolace dosahuje velmi dobrých tepelně izolačních vlastností. Měřením byla stanovena hodnota součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,037 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$  při objemové hmotnosti  $65 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . U celulózo-slámové izolace bylo také testováno, zdali ji bude možno aplikovat do stavebních konstrukcí foukáním. Tedy technologií, která se využívá pro plnění stavebních konstrukcí tepelnými izolacemi z celulózy. Praktické zkoušky prokázaly, že celulózo-slámovou izolaci je možno aplikovat foukáním.



Obr. 25 Zkušební klec naplněná celulózo-slámovou izolací



Obr. 26 Zapálení celulózo-slámové izolace po dotyku plamene



Obr. 27 Uhašení plamene po oddálení hořáku

Zkouška zápalnosti celulózo-slámové izolace probíhala podle stejného postupu jako zkouška drcené slámy podle normy [9]. Celulózová izolace (Climatizer PLUS, výrobce CIUR a.s.) je z výroby opatřena retardéry hoření, borytou solí a boraxem. Ty jsou na jednotlivá vlákna celulózy nanášeny ve výrobě pomocí patentované technologie. Tepelná

izolace z celulózy je dle údajů výrobce zařazena do třídy reakce na oheň *B* (viz Tab. 8). Při zkoušce zápalnosti byla zkušební klec ručně naplněna vzorkem celulózo-slámové izolace v předem zvolené objemové hmotnosti. Pro zkoušku zápalnosti byla zvolena objemová hmotnost vzorku  $70 \text{ kg.m}^{-3}$ . Hmotnost zkoušeného vzorku izolace byla u všech pěti vzorků 45,4 g. Při zkoušce zápalnosti celulózo-slámové izolace došlo k zapálení vzorku oranžovým plamenem. Během zkoušky neodpadávaly žádné hořící zbytky ani částice. Po oddálení hořáku plamen na povrchu vzorku ihned uhasínal. Šíření plamene se po oddálení hořáku zastavilo 5 cm od spodní hranice (viz Obr. 27). Celkem bylo zkoušeno pět vzorků, výsledky zkoušky zápalnosti jsou uvedeny v Tab. 13.

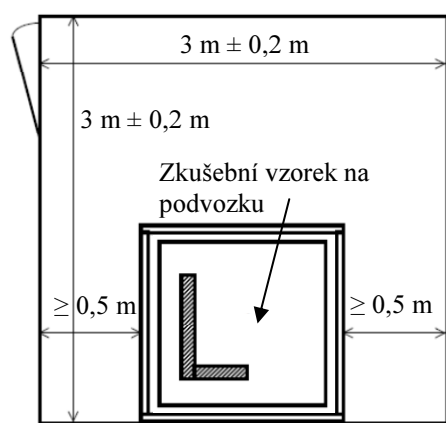
Tab. 13 Výsledky zkoušky zápalnosti celulózo-slámové izolace

Měřená veličina	jednotky	Výsledky měření zkušebního tělesa č.				
		1	2	3	4	5
Zapálení vzorku <i>Ano/Ne</i>	-	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Dosažení plamene po značku ve vzdálenosti 150 mm <i>Ano/Ne</i>	-	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Doba hoření dráhy 150 mm	S	-	-	-	-	-

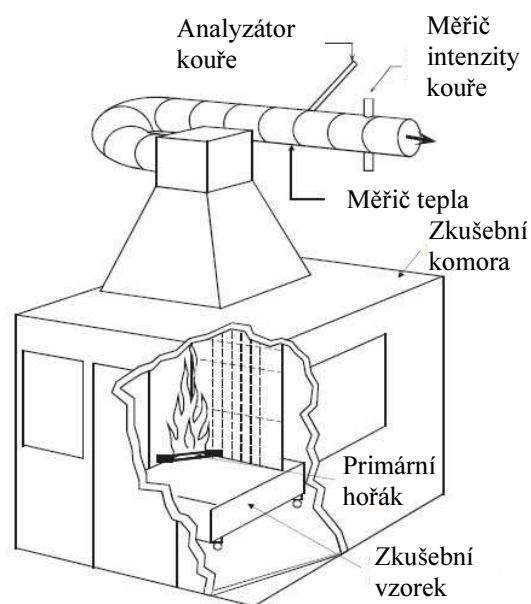
## 5. 6 Zkouška jednotlivým hořícím předmětem - *SBI*

Pro stanovení třídy reakce na oheň stavebních výrobků v třídách *A2* až *D* se používá požární zkouška jednotlivým hořícím předmětem. Obecně se pro tuto zkoušku používá zkratka *SBI* (Single Burning Item). *SBI* požární zkouška simuluje požární scénář požáru v rohu místnosti v reálném měřítku. Zkoušený materiál je umístěn svisle a tvoří roh ve tvaru písmene *L* fiktivní místnosti o půdorysných rozměrech  $3 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m}^2$  a výšce místnosti 2,4 m. Zdroj požáru je pak umístěn v rohu zkušební vzorku u podlahy. Požární zkouška jednotlivým hořícím předmětem se řídí normou ČSN EN 13823+A1 [32]. Zkušební vzorek se skládá ze dvou částí o šířce 0,5 m a 1,0 m. Výška obou částí je pak 1,5 m. Celková plocha vzorku vystavená účinkům požáru je  $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ . Obě části jsou k sobě montovány kolmo a tvoří tak svislý roh tvaru *L*. Zkušební vzorek je při montáži umístěn na pojízdný podvozek. Podvozek slouží pro dopravu do zkušebního zařízení – zkušební místnosti. Zkušební místnost je při požární zkoušce hermeticky uzavřena. Kontrola průběhu požární zkoušky se provádí vizuálně okny ve stěnách odvrácených požáru. Místnost je opatřena dveřmi umožňujících dopravu zkušebních vzorků a přístup obsluhy. Zkušební vzorek na podvozku je před požární zkouškou umístěn ke středu jedné strany zkušební místnosti a je pevně uchycen tak, aby nedošlo k jeho pohybu v průběhu zkoušky (viz Obr. 28). K iniciaci požární zkoušky

se využívá propanový pískový hořák o výkonu 30 kW a obsahu technického propanu minimálně 95 %. Propanový pískový hořák představuje hořící koš na odpadky naplněný papíry. Hořák je umístěn do spodního rohu zkušební vzorku na horní hranu podvozku. Následně dojde k zapálení a plamen se nechá působit po dobu 20 minut. V případě velkého vznícení zkušební vzorku může být hořák rychle uhašen aby nedošlo k poškození měřicí techniky. V horní části zkušební místnosti je umístěno odsávací vzduchotechnické zařízení pro jímání plynů hoření z hořícího zkušební vzorku. V průběhu SBI požární zkoušky se měří rychlost vývoje hustoty kouře ( $SMOGR$  v  $m^2.s^{-2}$ ), celkové množství tepla uvolněného ze zkušební tělesa během prvních 600 sekundách zkoušky ( $TSP_{600s}$  v  $m^2$ ) chemické složení plynů hoření (koncentrace  $CO_2$ ,  $O_2$ ), rychlost uvolňování tepla ze zkušební tělesa ( $FIGRA_{0,2 MJ}$ ,  $FIGRA_{0,4 MJ}$  v  $W/s$ ) a nárůst teploty plynů hoření v prvních deseti minutách zkoušky ( $THR_{600s}$  v  $MJ$ ). Dále se hodnotí množství hořících odpadávajících částí ( $FDP$ ) a zdali se plamen dostane po povrchu vzorku k boční či horní hraně ( $LFS$ ).



Obr. 28 Půdorys zkušební místnosti pro SBI požární zkoušku a umístění zkušební vzorku v průběhu požární zkoušky [35]



Obr. 29 Schéma zkušební místnosti pro SBI požární zkoušku [35]

Měřicí zařízení zaznamenávají uvedené parametry v průběhu požární zkoušky a na základě získaných dat se zkoušené materiály zatřídí do tříd *A2* až *D* podle reakce na oheň. Součástí měřicí místnosti jsou tato hlavní měřicí zařízení:

- Tři termoelektrické články pro zaznamenávání teplot v odsávacím potrubí a okolní teploty. Okolní teplota musí být v mezích  $(20 \pm 10 \text{ } ^\circ\text{C})$ , teploty v potrubí se nesmí lišit o více než  $4 \text{ } ^\circ\text{C}$  od okolní teploty.

- Obousměrná sonda pro měření okolního tlaku vzduchu s rozsahem 0 Pa až 100 Pa.
- Sonda pro vzorkování plynu připojená na analyzátor plynu pro CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>. Analyzátor měřící koncentraci O<sub>2</sub> v rozsahu 16 % až 21 % kyslíku ( $VO_2/V_{air}$ ). Analyzátor CO<sub>2</sub> je infračerveného typu a je schopen měřit v rozsahu 0 % až 10 % oxidu uhličitého.
- Systém měření útlumu bílého světla se používá pro měření rychlosti vývoje hustoty kouře (*SMOGRA*). Lze použít tři typy systémů pro měření útlumu bílého světla.
- Lampu se žhavým vláknem, soustavu optických čoček a detektor se spektrálně závislou citlivostí *CIE*.

Měřicí místnost se osazuje dalšími měřicími zařízeními. Mezi ně patří měřiče vlhkosti a tlaku okolního vzduchu, termoelektrické články měřící okolní teplotu vzduchu proudícího do zkušební místnosti a dále zařízení pro sběr měřených dat. Při požární zkoušce je nutné dodržet požadavky na způsob osazení a umístění zkušební vzorku dle kapitoly 4.4 normy [32]. Velmi důležitou součástí jsou pískové hořáky. Při *SBI* požární zkoušce se využívají dva hořáky. Hlavní (primární) hořák je umístěn na dně vozíku v rohu zkušební vzorku, druhý pomocný (sekundární) hořák je umístěn na sloupku pevného rámu. Pevný rám slouží jako podpora odsávacího zvonu a kotví se k němu podvozek se vzorkem. Odsávací zvon je část zkušební místnosti, která se umísťuje nad zkušební vzorek a která shromažďuje plynné zplodiny hoření. Uvedené součásti zkušební místnosti jsou znázorněny na Obr. 29. Tělo hořáků je vyrobeno z nerezové oceli a tvar je pravoúhlý trojúhelník. Strany (odvěsny) hořáku mají délku 250 mm, výška celého tělesa hořáku je 80 mm. Tělo hořáku je umístěno 10 mm nad úroveň podvozku a je tvořeno dnem z drátěné sítě o rozměrech 249 mm × 249 mm a průměrem ok 2 mm. Na dno je umístěna vrstva kameniva frakce od 4 mm do 8 mm v tloušťce 50 mm. Na vrstvě kameniva je umístěna vrstva písku frakce od 2 mm do 4 mm v tloušťce 20 mm. Přívodní trubka propanu je umístěna v spodní části hořáku. Zkušební hořák je umístěn proti rohu zkušební tělesa ve výšce 1450 mm od podlahy místnosti. Pomocný hořák slouží k stanovení tepelného výkonu a vývinu kouře ze samotného hořáku. Při požární zkoušce je pomocný hořák zapálen na krátkou dobu před zapálením hlavního hořáku a je tak možno zjistit jeho tepelný výkon a vývin kouře aniž by došlo k ovlivnění výsledků hoření zkušební vzorku. Pomocný hořák je zapálen na dobu  $300 \pm 5$  s, poté se přepne přívod propanu na hlavní hořák. Hmotnostní průtok propanu je v průběhu *SBI* zkoušky  $m_{gas} = 647 \pm 10 \text{ mg.s}^{-1}$ . V čase  $t = (300 \pm 5)$  s od začátku zkoušky se zapálí hlavní hořák po dobu 1260 s. Po tuto dobu se pozoruje chování zkušební vzorku a zaznamenávají se měřené hodnoty. Vyhodnocení průběhu požární zkoušky se pak

provede pro dobu 1200 s. Po ukončení zkoušky a uhašení případných hořících částí se zaznamenají podmínky na konci zkoušky. Požární zkouška *SBI* se musí provádět na minimálně 5. identických zkušebních vzorcích. Z naměřených hodnot se po zkoušce stanoví celkové množství tepla  $THR_{600s}$  a celkový vývin kouře ze zkušebního tělesa  $TSP_{600s}$  uvolněného v prvních 600 s zkoušky podle:

$$THR_{600s} = \frac{1}{1000} \cdot \sum_{0s}^{600s} HRR(t) \cdot \Delta t \quad (2)$$

Kde je

$THR_{600s}$  [MJ] celkové množství tepla zkušebního tělesa uvolněného v prvních 600 s požární zkoušky,  
 $HRR(t)$  [kW] rychlost uvolňování tepla ze zkušebního tělesa,  
 $\Delta t$  [s] interval sběru dat měření.

$$TSP_{600s} = \sum_{0s}^{600s} SPR(t) \cdot \Delta t \quad (3)$$

Kde je

$TSP_{600s}$  [m<sup>2</sup>] celkový vývin kouře ze zkušebního tělesa uvolněného v prvních 600 s požární zkoušky,  
 $SPR(t)$  [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>] rychlost uvolňování kouře ze zkušebního tělesa,  
 $\Delta t$  [s] interval sběru dat měření.

Po naměření a vypočítání potřebných hodnot se zkušební vzorek zatřídí podle třídy reakce na oheň dle kritérií uvedených v Tab. 14.

Tab. 14 Hodnotící kritéria požární zkoušky *SBI* pro jednotlivé třídy reakce na oheň

Hlavní klasifikace pro třídu reakce na oheň		Vývin kouře		Plamenně hořící částice a kapky	
$A2^1$	$FIGRA_{0,2 MJ} \leq 120 \text{ W.s}^{-1}$ $LFS < \text{hrana vzorku}$ $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	$s1$	$SMOGR \leq 30 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$ $TSP_{600s} \leq 50 \text{ m}^2$	$d0$	Nevyskytují se.
$B$	$FIGRA_{0,2 MJ} \leq 120 \text{ W.s}^{-1}$ $LFS < \text{hrana vzorku}$ $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	$s1$	$SMOGR \leq 30 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$ $TSP_{600s} \leq 50 \text{ m}^2$	$d0$	Nevyskytují se.
$C$	$FIGRA_{0,4 MJ} \leq 250 \text{ W.s}^{-1}$ $LFS < \text{hrana vzorku}$ $THR_{600s} \leq 15 \text{ MJ}$	$s2$	$SMOGR \leq 180 \text{ m}^2.\text{s}^{-2}$ $TSP_{600s} \leq 200 \text{ m}^2$	$d1$	Vzniká omezené množství málo plamenně hořících částic a kapek hořících po dobu ne delší než 10 s.
$D$	$FIGRA_0 \leq 750 \text{ W.s}^{-1}$	$s3$	-	$d2$	-

<sup>1</sup> Musí být provedeno další ověření požárních charakteristik dle EN ISO 1182 [33]

<sup>2</sup>  $FIGRA_{0,2 MJ}$  maximální hodnota podílu rychlosti uvolňování tepla odpovídajícímu času, při použití hodnoty  $THR_{0,2 MJ}$

<sup>3</sup> Musí být provedeno další ověření požárních charakteristik dle EN ISO 1182 [33] nebo EN ISO 1716 [34].

Dalšími hodnotícími kritérii jsou indexy rychlosti šíření tepla *FIGRA* a kouře (*SMOGRA*) ze zkušebního tělesa. Uvedené indexy se stanoví z naměřených hodnot na základě středních hodnot rychlosti uvolňování tepla  $HRR_{av}(t)$  a kouře  $SPR_{av}(t)$ . Střední hodnoty se během požární zkoušky měří v časových intervalech uvedených v kapitole A.5.3 a A.6.3 normy [32]. Během požární zkoušky *SBI* drcené slámy byly uvedené indexy stanoveny v časovém intervalu 300 s až 1560 s. V tomto časovém intervalu hoří hlavní hořák. Index šíření tepla a parametr vývinu kouře se stanoví podle:

$$FIGRA = 1000 \cdot \max\left(\frac{HRR_{av}(t)}{t}\right) \quad (4)$$

Kde je

*FIGRA* [W.s<sup>-1</sup>] index rychlosti rozvoje požáru,

$HRR_{av}(t)$  [kW] střední hodnota rychlosti uvolňování tepla ze zkušebního tělesa  
 $HRR(t)$

$t$  [s] interval sběru dat měření.

$$SMOGRA = 10000 \cdot \max\left(\frac{SPR_{av}(t)}{t}\right) \quad (5)$$

Kde je

*SMOGRA* [m<sup>2</sup>.s<sup>-2</sup>] parametr rychlosti vývinu kouře,

$SPR_{av}(t)$  [m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>] střední hodnota rychlosti uvolňování kouře ze zkušebního tělesa  
 $SPR(t)$

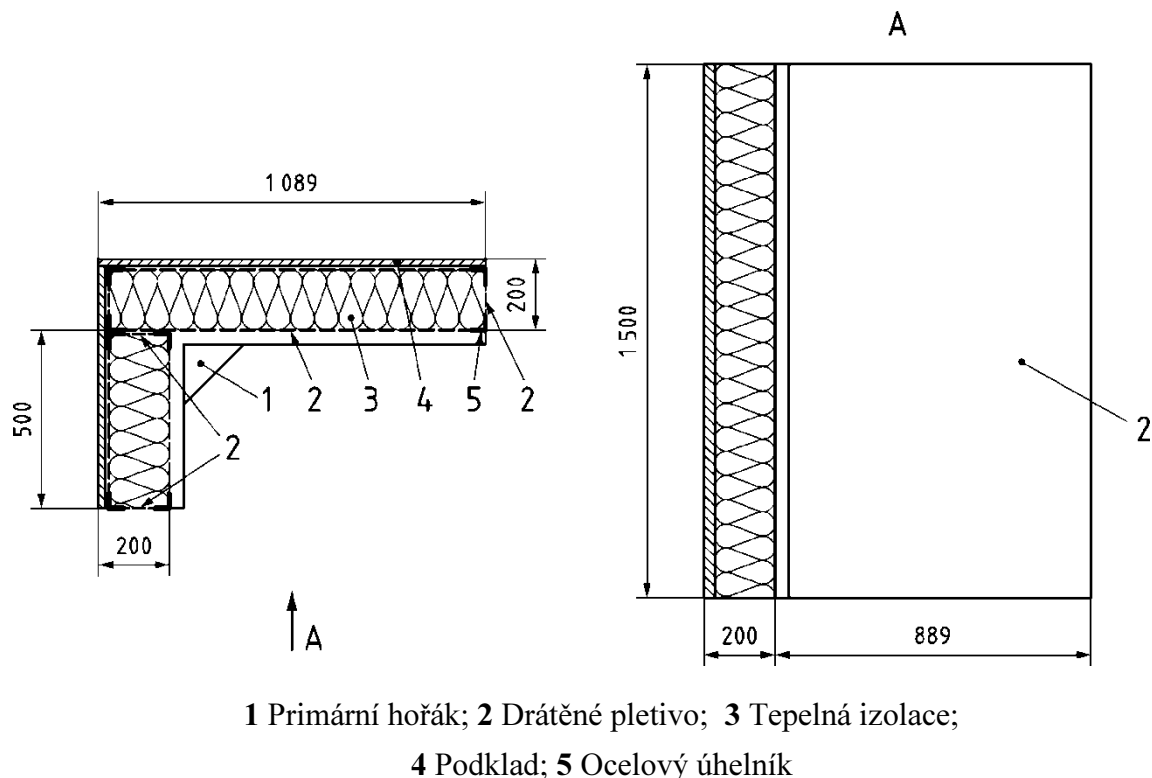
$t$  [s] interval sběru dat měření.

### 5. 6. 1 Požární zkouška jednotlivým hořícím předmětem (*SBI*) drcené slámy

Při přípravě požární zkoušky jednotlivým hořícím předmětem drcené slámy bylo nutno vycházet z normy [9] určené pro výrobky z volně sypané celulózy. Tato norma specifikuje velikost a podrobnosti zkušebního tělesa (viz Obr. 30). Postup vlastní požární zkoušky je potom dán normou [32]. Drcená sláma se musí umístit před provedením zkoušky umístit do zkušebního tělesa. Zkušební těleso je pospáno v příloze C normy [9]. Zkušební těleso tvoří stěny a nosný rám. Nosný rám zajišťuje celkový tvar tělesa a vytváří montážní konstrukci pro stěny. Nosný rám zkušebního tělesa použitého při *SBI* požární zkoušce drcené slámy byl vyroben z ocelových válcovaných úhelníků tvaru L o rozměrech 50 mm × 50 mm. Opláštění stěn neexponované strany zkušebního tělesa je vytvořeno z OSB desek tl. 15 mm. Exponované a boční strany jsou tvořeny ocelovým drátěným pletivem s průměrem drátu 1 mm a pravoúhlým formátem ok 3/3 mm. Spodní a horní plochy zkušebního tělesa jsou také vytvořeny z drátěného pletiva. V horních plochách jsou kruhové otvory, které slouží



pro aplikaci zkoušeného materiálu (viz Obr. 32). Tloušťka bočních stěn zkušebního tělesa je taková, aby tloušťka zkoušeného materiálu byla min. 200 mm. Aplikace drcené slámy do pěti zkušebních segmentů byla provedena v zkušební laboratoři firmy CIUR a.s. v Brandýse nad Labem. Drcená sláma byla do zkušebních těles aplikována na objemovou hmotnost  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ . Následně byly zkušební segmenty převezeny do požární laboratoře CSI Praha, kde byla požární zkouška *SBI* provedena.



Obr. 30 Schéma zkušebního tělesa pro požární zkoušku *SBI* foukaných izolací [9].



Obr. 31 Krátké křídlo (vlevo) a dlouhé křídlo (vpravo) zkušebního segmentu naplněného drcenou slámou před požární zkouškou *SBI*



Obr. 32 Kruhové otvory pro plnění izolace v horní stěně zkušebního segmentu



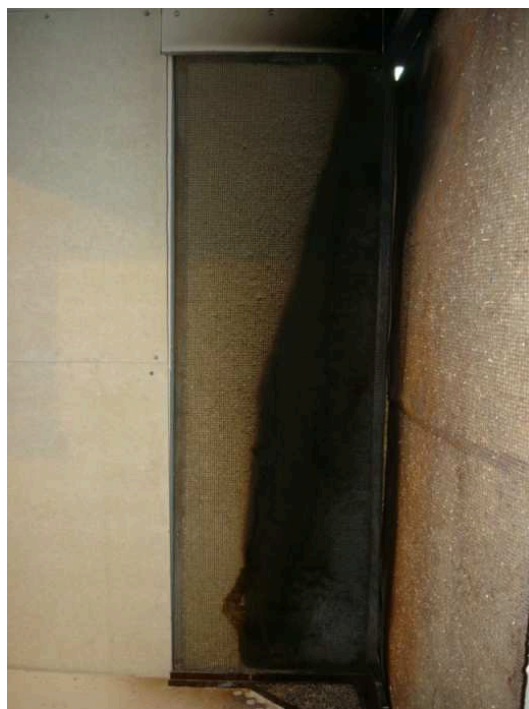
V průběhu požární zkoušky *SBI* v čase  $t = (300 \pm 5)$  s došlo k zapálení hlavního pískového hořáku. Došlo k povrchovému zapálení zkušební vzorku. Plamen z hořáku se po povrchu vzorku rozšířil pouze k horní hraně. Rozšíření plamene k boční hraně krátkého ani dlouhého křídla nedošlo (viz Obr. 33, Obr. 34). Nebylo tak dosaženo hodnotícího parametru *LFS*. Z povrchu exponovaných částí zkušební vzorku neodpadávaly žádné plamenně hořící částice ani kapky. Dle Tab. 14 a Tab. 11 může být zkoušený vzorek zatříděn do třídy *d0* dle doplňkové klasifikace podle výskytu plamenně hořících částic a kapek. Parametr rychlosti vývinu kouře (*SMOGRA*) a celkový vývin kouře ze zkušební tělesa uvolněného v prvních 600 s požární zkoušky (*TSP<sub>600s</sub>*) vyhověly požadavků pro zatřídění i do třídy *A2* podle reakce na oheň a drcená sláma může být zatříděna do třídy *s1* podle šíření kouře. Index šíření požáru (*FIGRA<sub>0,2MJ</sub>*) překročil požadovanou hodnotu  $FIGRA_{0,2MJ} \leq 120$  W/s nutnou pro zatřídění do třídy reakce na oheň *B*. Rozdíl mezi požadovanou hodnotou a naměřenou hodnotou však byl velmi malý. Drcená sláma o objemové hmotnosti  $90 \text{ kg.m}^{-3}$  může být na základě požární zkoušky *SBI* zatříděna do třídy *C-s1, d0* podle reakce na oheň. Hodnotící parametry a zatřídění jednotlivých zkušebních vzorků drcené slámy jsou uvedeny v Tab. 15.

Tab. 15 Naměřené hodnoty hodnotících parametrů a zatřídění zkušebních vzorků drcené slámy do třídy podle jejich reakce na oheň

Hodnotící parametr	Číslo zkušební vzorku			Průměr
	1	2	3	
THR <sub>600s</sub> (MJ)	5,2	5,6	5,4	5,4
LFS (Ano/Ne)	Ne	Ne	Ne	Ne
FIGRA <sub>0,2MJ</sub> (W.s <sup>-1</sup> )	123,0	134,9	129,8	129,2
FIGRA <sub>0,4MJ</sub> (W.s <sup>-1</sup> )	114,7	121,9	119,8	118,8
TSP600s (m <sup>2</sup> )	46,6	44,9	48,1	46,5
SMOGRA (m <sup>2</sup> .s <sup>-2</sup> )	2,7	2,0	3,0	2,6
Odpadávající částice	Ne	Ne	Ne	Ne
Třída reakce na oheň	<i>C-s1, d0</i>	<i>C-s1, d0</i>	<i>C-s1, d0</i>	<i>C-s1, d0</i>



Obr. 33 Dlouhé křídlo zkušební vzorku č.1 po požární zkoušce SBI



Obr. 34 Krátké křídlo zkušební vzorku č.1 po požární zkoušce SBI

### 5. 7 Požární odolnost stavebních konstrukcí s drcenou slámou

U stavebních konstrukcí z hlediska požární bezpečnosti se požaduje, aby měly schopnost maximálně omezit riziko šíření požáru a zabránit ztrátám na životech a zdraví osob (včetně osob provádějících požární zásah), zvířat a majetku v případě požáru. Základním požadavkem na konstrukce je, aby zůstala zachována její stabilita a únosnost po požadovanou dobu požární odolnosti [15].

Základní požadavky jsou uvedeny v kmenových normách ČSN 73 0802 [18] a ČSN 73 0804 [19]. Projektové normy poté určují specifické požadavky pro danou skupinu staveb. Další požadavky jsou pak uvedeny v ČSN 73 0810 [20], ČSN 73 0821 [21], ČSN EN 1991-1-2 [22] a ČSN EN 1995-1-2 [23].

Požadovaná požární odolnost konstrukcí musí být při běžném provozu zajištěna po celou předpokládanou dobu životnosti stavebního či technologického objektu. O požární odolnosti stavebních konstrukcí rozhodují požadované mezní stavy (Tab. 16) na danou konstrukci, které musí být splněny po určitou požadovanou dobu. Minimální požadavky na dobu požární odolnosti jsou stanoveny v ČSN 73 0802 [18] a ČSN 73 0804 [19], kde jsou také určeny druhy požárních konstrukcí (DP1, DP2, DP3).

Tab. 16 Příklady označení požární odolnosti stavebních konstrukcí podle ČSN 73 0810 [20]

Mezní stav	Příklad konstrukce
<i>R</i>	nosné tyčové prvky (nosníky a sloupy), kde se vyžaduje pouze nosnost R
<i>REI</i>	nosné požárně dělící konstrukce, tj. stěny a stropy
<i>EI</i>	nenosné požárně dělící konstrukce
<i>EW</i>	požární uzávěry, u kterých je vyžadována celistvost E a mezní hustota tepelného toku W

V ČSN 73 0802 [18] jsou uvedeny základní požadavky na konstrukce, kdy požadovaný druh konstrukční části se stanoví podle stupně požární bezpečnosti požárního úseku a požadovaná požární odolnost je vyjádřena dobou v minutách (Tab. 17). Další požadavky, které nejsou uvedeny v této normě, řeší ČSN 73 0810 [20] a ve které je také stanoven způsob klasifikace požární odolnosti stavebních konstrukcí. Některé další požadavky na konstrukce jsou stanoveny také ve vyhlášce č. 23/2008 Sb. a projektových normách.

Tab. 17 Příklady požární odolnost stavebních konstrukcí a jejich druh dle ČSN 73 0802 [18]

Stavební konstrukce	Stupeň požární bezpečnosti požárního úseku <sup>1)</sup>						
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	Požární odolnost stavebních konstrukcí a její druh						
Nosné konstrukce vně objektu, které zajišťují stabilitu	15	15	15	30	30 DP1	45 DP1	60 DP1
Konstrukce schodišť uvnitř PÚ, které nejsou součástí CHÚC	–	15 DP3	15 DP3	15 DP1	30 DP1	45 DP1	45 DP1
<sup>1)</sup> Klasifikační zatřídění vyjadřující schopnost stavebních konstrukcí jako celku čelit účinkům požáru z hlediska možnosti rozšíření požáru a zachování stability objektu. PÚ - požární úsek, CHÚC - chráněná úniková cesta							

Při návrhu konstrukce na účinky požáru se bere v úvahu:

- volba příslušného návrhového požárního scénáře;
- stanovení odpovídajícího návrhového požáru (např. normová teplotní křivka);
- výpočet vývoje teploty v nosných prvcích;
- výpočet mechanického chování konstrukce vystavené účinkům požáru.

Dle ČSN EN 1995-1-2 [22] se u dřevěných nechráněných konstrukcí posuzuje hloubka zuhelnatění. Zuhelnatění se musí uvažovat pro všechny povrchy dřeva a desek na bázi dřeva přímo vystavené požáru, a pro povrchy na počátku chráněné proti účinkům

požáru, ale kde však později dochází k zuhelnatění dřeva v příslušné době vystavené účinkům plamene. Jednotlivé postupy pro určení hloubky zuhelnatění jsou uvedeny v této normě [23]. Stavební konstrukce se hodnotí třídou požární odolnosti. Tu tvoří písemné značky (viz Tab. 18), které znamenají požadované mezní stavy (konstrukce zachovává při požáru), dále číslo, které udává dobu požární odolnosti v minutách (viz Tab. 19), jako poslední je uveden příslušný druh konstrukční části (doplňující údaj). Požární odolnost je doba, během níž je konstrukce schopna zachovávat svou funkci. Je dána dosažením jednoho z mezních stavů požární odolnosti, pro něž se užívají písemné značky, které lze nalézt v ČSN 73 0810 [20]. V této normě jsou také uvedeny požadavky na mezní stavy požární odolnosti stavebních konstrukcí. U některých konstrukcí stačí posoudit pouze jeden stav (např. pro nosné konstrukce *R* - nosnost), u konstrukcí s požárně dělicí funkcí se musí posoudit 2. mezní stavy (např. *E* – celistvost, *I* - izolace), pro nosné a požárně dělicí konstrukce platí 3. mezní stavy (např. *REW* – nosnost, celistvost, radiace). Podrobně jsou mezní stavy popsány v ČSN EN 13501-2+ A1 [16]. Zvýšení požární odolnosti stavebních konstrukcí je možné provádět několika způsoby - ochrana mokrou technologií (nástřik), zpěňující nátěry a ochrana suchou technologií. U dřevěných konstrukcí se pro zvýšení požární odolnosti provádí zvětšení rozměrů dřevěného prvku, retardéry hoření a nátěry.

Tab. 18 Mezní stavy požární odolnosti [31]

Značka	Charakteristická vlastnost
<i>R</i>	Nosnost
<i>E</i>	Celistvost
<i>I</i>	izolace (teploty na neohřívané straně)
<i>W</i>	radiace (hustota tepelného toku na neohřívané straně)
<i>S</i>	kouřotěsnost (prostup zplodin hoření)
<i>M</i>	mechanická odolnost
<i>C</i>	Samozavírání
<i>G</i>	odolnost proti požáru sazí
<i>K</i>	účinnost požárních ochranných
<i>D</i>	trvání stability kouřových zábran (přepážek) při stálé teplotě
<i>DH</i>	trvání stability kouřových clon (přepážek) při normové teplotě
<i>F</i>	funkčnost zařízení s nuceným odvodem kouře a tepla
<i>B</i>	funkčnost zařízení s přirozeným odvodem kouře a tepla
<i>P</i> nebo <i>PH</i>	plynulá dodávka energie a/nebo přenos signálu

Tab. 19 Užívaná doba požární odolnosti stavebních konstrukcí [16]

Mezní stav	Doba požární odolnosti dle ČSN EN 13501-2+A1 (min)
<i>R</i>	15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360
<i>E, I, W</i>	15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240
požární uzávěry	15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240

### 5. 7. 1 Velkorozměrová požární zkouška tří segmentů obvodové stěny vyplněných drcenou slámou

Pro ověření požárních parametrů – požární odolnosti celých stavebních konstrukcí se v praxi nejčastěji využívají velkorozměrové požární zkoušky. Jedná se o požární zkoušky, které se provádějí na zkušebních vzorcích reálných konstrukcí ve specializovaných požárních laboratořích, které disponují potřebným technickým vybavením. Důvodem, proč je nutno ověřovat požární odolnost stavebních konstrukcí reálnými velkorozměrovými zkouškami je fakt, že se tato hodnota dá teoreticky jen velmi složitě stanovit. Teoretické stanovení požární odolnosti je také možné jen pro jednoduché konstrukce složené ze standardních materiálů, které mají definované ostatní požární charakteristiky, zejména třídu reakce na oheň. U konstrukcí složených z mnoha různých prvků a materiálů jako jsou například obvodové stěny dřevostaveb, je teoretické stanovení hodnoty požární odolnosti téměř nemožné a takové výsledky nejsou v praxi použitelné. Velkorozměrové požární zkoušky se provádí v certifikovaných požárních laboratořích na vzorcích o rozměrech 3 m × 3 m. Zkušební vzorky jsou před vlastní zkouškou umístěny do zkušební pece. Při vlastní požární zkoušce je ve zkušební peci dosažena teplota 1000 °C. Konstrukce zkušební pece umožňuje vnést do zkoušeného vzorku zatížení. Tato funkce se využívá při stanovení požární odolnosti svislých nosných konstrukcí, které se zkoušejí pod zatížením. Velkoformátové požární zkoušky jsou technicky i finančně velmi náročné. Cena jedné zkoušky se pohybuje okolo 150.000,- Kč. Pro předběžné ověření požární odolnosti zkušební vzorku lze využít levnější variantu zkoušky, při které lze zároveň otestovat více zkušebních vzorků najednou. Tento typ požární zkoušky se nazývá předběžná (informační) požární zkouška. Při předběžné zkoušce lze ve zkušební peci testovat až devět zkušebních vzorků a její průběh je dán normou ČSN EN 1364-1 [29]. Rozměry vzorků se pak pohybují okolo 80 cm × 80 cm. Jednotlivé vzorky jsou od sebe ve zkušební peci odděleny vyzdívkou a nelze tedy zkoušku provádět se zatížením. Tímto typem zkoušky tedy nelze stanovit hodnotu požární odolnosti *R* (min). Zkouškou se dají stanovit hodnoty požární odolnosti *I* – izolace (min) a *E* – celistvost (min). Zkušební vzorky byly v rámci předběžné požární zkoušky od sebe odděleny vyzdívkou z tvárnic *Ytong* tl. 300 mm (viz Obr. 35, Obr. 36). Předběžná požární zkouška byla provedena

v rámci projektu PreSeed II – Materiály a v průběhu zkoušky byly testovány také zkušební vzorky vyplněné rozvlákněnou celulózou *Climatizer-Plus*. Celkem bylo v rámci zkoušky testováno devět zkušebních vzorků. Tři vzorky vyplněné drcenou slámou a šest vzorků vyplněných izolací z celulózy (viz Obr. 35).

#### 5. 7. 2 Zkušební vzorky předběžné velkorozměrové požární zkoušky

Skladby tří zkušebních vzorků, které byly zkoušeny v rámci předběžné požární zkoušky byly navrženy jako skladby svislé obvodové konstrukce dřevostavby. Konstrukce zkušebních vzorků byla tvořena svislými prolamovanými nosníky LAG. Jeden zkušební vzorek o rozměrech 730 × 730 mm tvořily tři svislé nosníky LAG. Dva nosníky byly umístěny na krajích zkušebních vzorků a jeden nosník LAG byl umístěn uprostřed. Zkušební vzorek byl opatřen opláštěním. Dutiny ve zkušebních vzorcích byly vyplněny drcenou slámou. Drcená sláma byla aplikována do zkušebních vzorků zafoukáním pomocí aplikačního stroje používaného pro tepelné izolace z celulózy. Aplikace drcené slámy a celulózy (viz Obr. 38) byla provedena dvojicí kruhových otvorů v horním opláštění zkušebního vzorku (viz Obr. 37). Kruhové otvory o průměru 12 cm byly po aplikaci drcené slámy uzavřeny kruhovou korkovou zátkou. Drcená sláma byla plněna o objemové hmotnosti 90 kg.m<sup>-3</sup>. Tepelná izolace z celulózy byla plněna do zkušebních vzorků o objemové hmotnosti 60 kg.m<sup>-3</sup>.



Obr. 35 Vnější strana požární komory s devíti zkušebními vzorky před požární zkouškou



Obr. 36 Vnitřní strana zkušební komory vystavená požáru před požární zkouškou





Obr. 37 Montáž zkušebních vzorků pro požární zkoušku, kruhové otvory v horní části vzorků pro plnění izolace



Obr. 38 Plnění zkušebních vzorků izolací z celulózy a drcené slámy

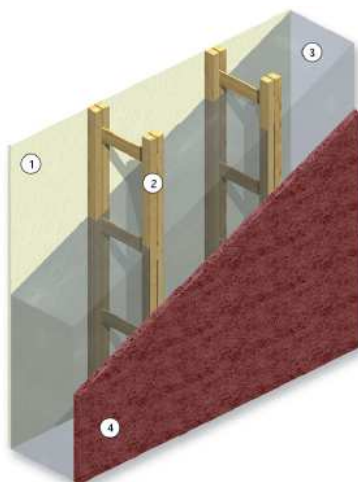
Opláštění zkušebních vzorků bylo provedeno ve třech variantách. Materiálové složení skladeb bylo navrženo vzhledem k požadovaným parametrům a výsledným vlastnostem. Popis jednotlivých variant je uveden na Obr. 39. První varianta (vzorek č. 7) byla opláštěná ze strany interiéru sádrovláknitou deskou tl. 12,5 mm, z vnější strany pak byla použita tuhá dřevovláknitá deska tloušťky 40 mm. Druhá varianta (vzorek č. 4b) byla z vnější opláštěná cementotřískovou deskou *Velox WS* tl. 25 mm a z vnitřní strany deskou OSB III Superfinish Eco tl. 15 mm. Třetí varianta byla navržena se snahou a dosažení co nejnižší výsledné ceny celé skladby. Z vnitřní strany byla opláštěná deskou OSB III Superfinish Eco tl. 15 mm, z vnější strany pak perforovanou deskou OSB III Superfinish ECO tl. 15 mm. Právě OSB desky se u dřevostaveb nejčastěji využívají jako konstrukční desky. Tedy desky, které spolu se svislými a vodorovnými nosnými prvky zajišťují tuhost celé stavby. Výhodou opláštění z desek na bázi dřeva (např. OSB) je jejich velká únosnost a nízká hmotnost. Při ztužení konstrukce pouze z jedné strany, obvykle z interiéru, dochází k omezení tuhosti dřevostaveb jako celku a je nutno konstrukce ztužovat dalšími konstrukčními prvky. U difúzně uzavřených systémů obsahujících parozábranu na vnitřním líci, je možno použít opláštění s desek na bázi dřeva na vnitřní i vnější straně konstrukcí. U difúzně otevřených systémů je možno využít opláštění z desek na bázi dřeva pouze na vnitřní líc konstrukcí. Důvodem je vysoká hodnota difuzního odporu neperforovaných desek na bázi dřeva. Hodnota faktoru difuzního odporu  $\mu$  (-) se u desek na bázi dřeva pohybuje v rozmezí 50 až 200. Pokud se použije neperforovaná opláštějící deska na bázi dřeva i ze strany exteriéru, často dochází uvnitř konstrukce k nepřipustné kondenzaci vodní páry. Kondenzační zóna se nachází na exteriérové straně konstrukce na vnitřním povrchu vnější opláštějící desky. Problém nebezpečí kondenzace

vodní páry uvnitř konstrukce řeší použití konstrukční desky s nízkým difuzním odporem. V současné době se však na trhu nevyskytuje deskový materiál na bázi dřeva s takovou hodnotou difuzního odporu  $\mu$ , aby jej bylo možno použít jako opláštějící desku ze strany exteriéru dřevostaveb a zároveň aby dosahoval potřebných mechanicko-fyzikálních parametrů vhodných pro vnější opláštění u difúzně otevřených obvodových plášťů dřevostaveb. Snížení hodnoty faktoru difuzního odporu  $\mu$  (-) je u vnější konstrukční desky třetí varianty zkušebního vzorku dosaženo perforací konstrukční desky pomocí kruhových otvorů o průměru 10 mm v čtvercovém rastru 100 × 100 mm. Uvedené řešení je v současné době průmyslově chráněno jako užitný vzor č.27796 s názvem „Konstrukční perforovaný opláštějící prvek s nízkým difuzním odporem“ [30].

Zkušební vzorky reprezentovaly nosnou obvodovou konstrukci dřevostaveb. Součástí všech zkušebních vzorků byly také svislé nosné sloupky. Svislé sloupky byly tvořeny prolamovanými nosníky *LAG* [25]. Jedná se o svislý nosný prvek tvaru „I“ tvořený čtyřmi svislými latěmi 40 × 60 mm z masivního dřeva třídy C24. Dvojice dřevěných latí tvoří jednu stojinu. Propojení stojin je zajištěno pomocí přílozek z OSB desky tloušťky 15 mm. Výška přílozek je minimálně 100 mm a šířka je dána požadovanou šířkou *LAG* nosníku. V rámci předběžné požární zkoušky byly testovány zkušební vzorky s *LAG* nosníky šířky 300 mm. Spojení stojin a přílozek bylo zajištěno hřebíky. Každý spoj byl propojen dvojicí hřebíků 3,15 × 80 mm. Prolamovaný *LAG* nosník byl vyvinut zejména pro použití s foukanými tepelnými izolacemi. Pro aplikaci foukaných tepelných izolací musí být konstrukce rozdělena na samostatné dutiny. Dutiny se pak při aplikaci foukaných izolací jednotlivě plní aplikačním strojem. Z tohoto důvodu je na pásnici *LAG* nosníků kotven přířez z „perlinky“. Perlinka je kotvena k latím pomocí sponkovačky. Výhodou *LAG* nosníků oproti jiným nosným konstrukčním prvkům dřevostaveb je přerušení tepelného mostu, který tvoří plnostěnné pásnice. Dále je možno *LAG* nosníky vyrábět v různých šířkách a to i přímo na stavbě. Prolamovaná pásnice umožňuje jednoduše rozvádět instalace technických zařízení budov přímo ve stěnách. Další výhodou je, že při aplikaci foukaných tepelných izolací je možno jednotlivé dutiny plnit z boční strany stěny jedním otvorem. Plnění se pak provádí pomocí dlouhé aplikační jehly, která může mít délku 3 m. U prvků s plnostěnnou pásnicí se plnění provádí otvory které jsou vytvořeny v každé dutině z vnitřní nebo vnější strany stěny. Vyvrtáním plnicích otvorů pak dochází k perforaci opláštějících desek, které zajišťují funkci vzduchotěsnou nebo slouží jako vrstva omezující difuzi vodní páry do konstrukce.



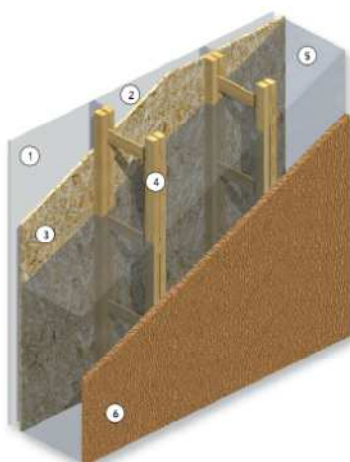
Plnicí otvory je nutno po aplikaci foukaných izolací vzduchotěsně a parotěsně uzavřít například pomocí korkové zátky a speciálních lepicích pásek.



#### **Skladba konstrukce č. 1, 4a, 4b:**

š.730 × v.500 × tl.295 mm

1. Sádroláknitá deska / 12,5 mm / 18,1 kg/m<sup>3</sup>
2. LAG nosník / 300 mm
3. Drcená sláma / 300 mm / 90 kg/m<sup>3</sup>  
Climatizer PLUS / 300 mm/ 60 kg/m<sup>3</sup>
4. Cementoštěpková deska / 40 mm / 20,1 kg/m<sup>3</sup>

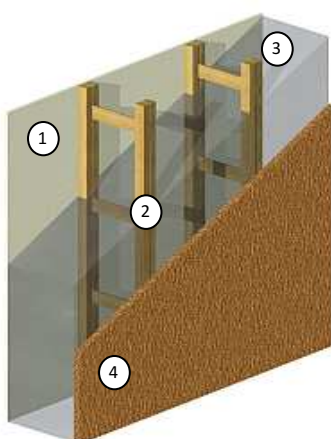


#### **Skladba konstrukce č. 2, 5a, 5b:**

š.730 × v.500 × tl.295 mm

1. SDK deska bílá / 12,5 mm / 7,0 kg/m<sup>3</sup>
2. Vzduchová mezera / 60 mm / CD profily
3. OSB 3 Superfinish ECO / 15 mm / 7,8 kg/m<sup>3</sup>
4. LAG nosník / 300 mm
5. Drcená sláma / 300 mm / 90 kg/m<sup>3</sup>  
Climatizer PLUS / 300 mm/ 60 kg/m<sup>3</sup>
6. Dřevovláknitá deska / 40 mm / 7,2 kg/m<sup>3</sup>

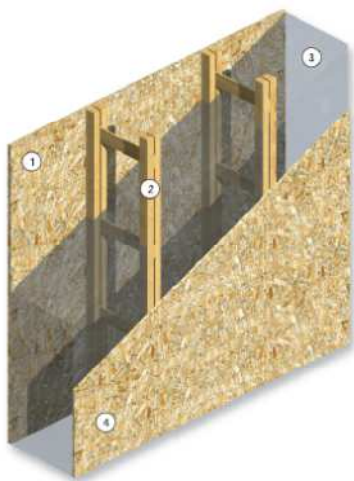
Pozn.: Vrstvy 1. a 2. Nebyly v rámci předběžné požární zkoušky namontovány.



#### **Skladba konstrukce č. 7:**

š.730 × v.500 × tl.295 mm

1. OSB 3 Superfinish ECO / 15 mm / 7,8 kg/m<sup>3</sup>
2. LAG nosník / 250 mm
3. Drcená sláma / 300 mm / 90 kg/m<sup>3</sup>  
Climatizer PLUS / 300 mm/ 60 kg/m<sup>3</sup>
4. Dřevovláknitá deska / 40 mm / 7,2 kg/m<sup>3</sup>



**Skladba konstrukce č. 3, 6:**

š.730 × v.500 × tl.270 mm, 330 mm

1. OSB 3 Superfinish ECO / 15 mm / 7,8 kg/m<sup>3</sup>
2. LAG nosník / 300 mm
3. Climatizer PLUS / 300 mm/ 60 kg/m<sup>3</sup>
4. OSB 3 Superfinish ECO / 15 mm / 7,8 kg/m<sup>3</sup>  
Perforovaná 24 ks otvorů o průměru 10 mm  
s roztečí max. 100 mm.

Obr. 39 Popis a schéma jednotlivých zkušebních vzorků velkoformátové požární zkoušky

**5. 7. 3 Výsledky předběžné velkoformátové požární zkoušky**

Cílem předběžné velkoformátové požární zkoušky bylo stanovit hodnotu požární odolnosti  $EI$  [min] ( $E$  – celistvost a  $I$  – izolace) testovaných vzorků. Hodnota  $E$  – celistvost udává schopnost zkušebního vzorku stavební konstrukce zabránit při ohřívání z jedné strany průchodu plamene a horkých plynů a zabránit výskytu plamenů na neexponované straně. Hodnota  $I$  – izolace udává schopnost zkušebního vzorku stavební konstrukce omezit při ohřívání z jedné strany růst teploty na neohřívané straně pod stanovenou mez [29]. V průběhu požární zkoušky byly měřeny charakteristické veličiny pro obě kritéria požární odolnosti. Při stanovení požární odolnosti kritéria  $E$  – celistvost se na neexponované straně (strana odvrácená požáru) u zkoušených vzorků hodnotí tyto parametry:

- Trhliny či otvory přesahující stanovené rozměry,
- vznícení bavlňného polštářku,
- souvislé hoření na neexponované straně.

Uvedené parametry kritéria vzniku trhlin a souvislého hoření se v průběhu zkoušky kontrolují zrakem. Souvislé hoření, neboli trvalé plamenné hoření je takové, kdy se na neexponované straně objeví plamen po dobu delší než 10 sekund. Velikost trhlin se v průběhu zkoušky měří měrkami spár. Měrky se vyrábí z oceli kruhového průřezu 6 mm a 25 mm (viz Obr. 40). V průběhu zkoušky se pomocí měrek ověřuje, zdali mohou měrky projít zkušebním vzorkem tak aby vyčnívaly do exponované části pece (pro měrky o průměru 6 a 25 mm). U měrky průměru 6 mm se dále hodnotí, zdali s ní lze pohybovat v délce spáry 150 mm. Měrky se do zkušebního vzorku zavádějí bez použití nadměrné síly.

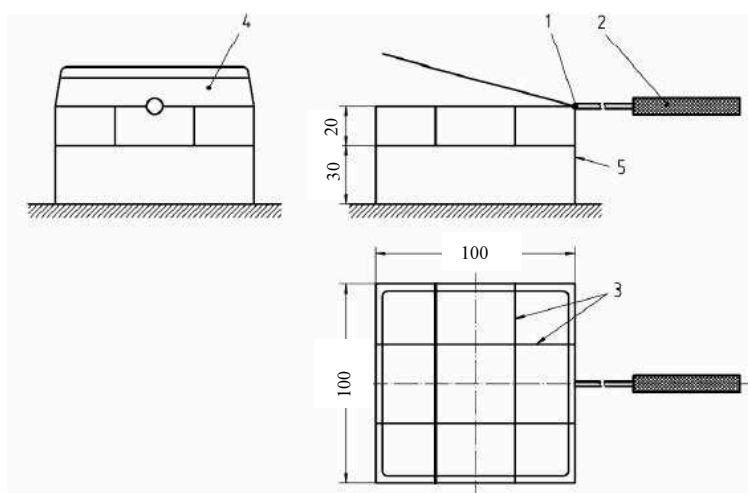


Obr. 40 Měření velikosti trhlin zkoušeného vzorku v průběhu požární zkoušky pomocí ocelových měrek, zdroj <http://606060.com.au/home/> [36]

Kritérium vznícení bavlněného polštářku se měří přiložením rámečku, do kterého je vložen bavlněný polštářek k neexponovanému povrchu zkušební vzorku (viz Obr. 41). Bavlněný polštářek se ke zkušebnímu vzorku přikládá po dobu maximálně 30 sekund, nebo dokud nedojde k jeho vznícení (žhnutí či plamenné vznícení). Bavlněný polštářek se přikládá na všechna místa, kde dochází k porušení celistvosti vzorku. Obsluha v průběhu zkoušky zrakem vybírá místa, kde lze očekávat a potenciálně i může dojít k porušení vzorku. Při přikládání bavlněného polštářku je třeba dodržet minimální vzdálenosti od povrchu zkoušeného vzorku. Vzdálenost mezi povrchem polštářku a vzorku musí být nejméně 30 mm. Minimální vzdálenosti zajišťují výčnělky v rámečku, do kterého se bavlněný polštářek vkládá. Schéma rámečku je znázorněno na Obr. 42. Uhelnatění polštářku ukazuje na místa, kde dochází k porušení celistvosti, není však důvodem pro přerušení zkoušky protože musí být dosaženo vznícení polštářku. V průběhu zkoušky se zaznamenává čas vznícení a místo kde ke vznícení došlo. Bavlněný polštářek používaný při měření kritéria celistvosti musí obsahovat 100% nových, nebarvených a neupravovaných bavlněných vláken. Hmotnost bavlněného polštářku, který se vkládá do rámečku o rozměrech 100 mm × 100 mm × 20 mm, je v rozmezí 3 g až 4 g. Před použitím se bavlněný polštářek kondicionuje vysoušením v peci o teplotě 100°C ± 5°C po dobu nejméně 30 minut.



Obr. 41 Bavlněný polštářek před požární zkouškou (vlevo). Použití bavlněného polštářku při měření celistvosti (vpravo), zdroj <http://606060.com.au/home/> [36]



Obr. 42 Schéma rámečku pro vložení bavlněného polštářku při měření celistvosti zdroj <http://606060.com.au/home/> [36]

Pro kritérium  $I$  – izolace je rozhodující doba (min), za kterou neexponovaný povrch zkušební vzorku dosáhne vzrůstu teploty o 140 K nad průměrnou počáteční teplotu. Vzrůst teploty se v průběhu zkoušky zaznamenává pomocí termoelektrických článků. Ty se umísťují na neexponovanou stranu zkušební vzorku. Termoelektrické články se ke vzorku upevňují pomocí tepelně odolného lepidla. V průběhu předběžné požární zkoušky zkušebních vzorků s drcenou slámou byly na neexponovaný povrch každého ze vzorků umístěny tři termoelektrické články. Jeden článek byl umístěn doprostřed vzorku, zbylé dva články byly umístěny vždy do středu čtvrtiny vzorku. Pomocí tří termoelektrických článků pak byla v průběhu zkoušky stanovena průměrná teplota na neohřívané straně zkušební vzorku  $T_{prům}$  (min). Umístění termoelektrických čidel na neexponované straně zkušebních vzorků je znázorněno na Obr. 43.

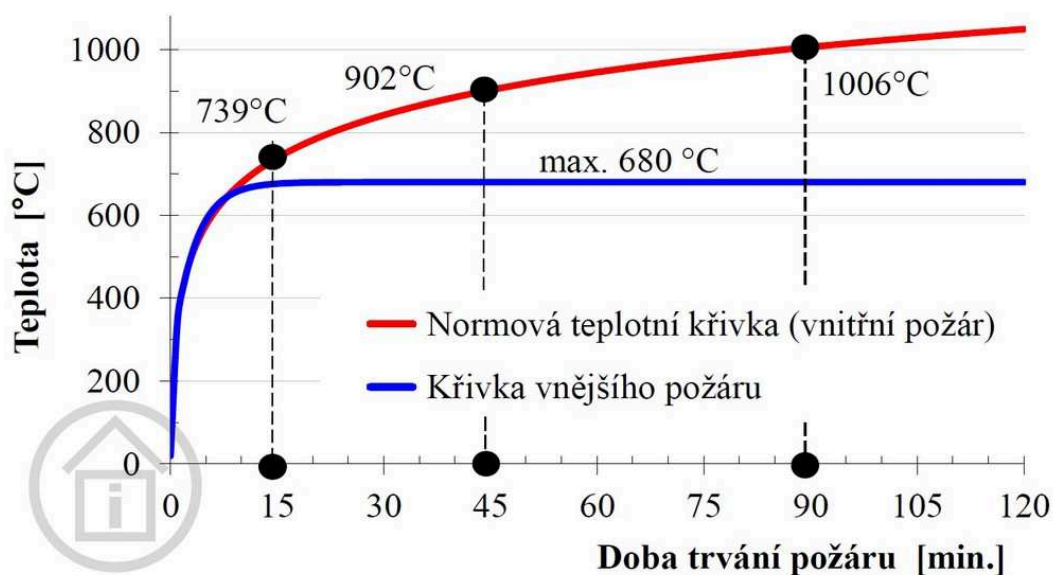
Pro zajištění vnějších podmínek měření požadovaných normou [29] je nutno před zahájením požární zkoušky kondicionovat zkušební vzorky za takových podmínek, aby se obsah vlhkosti zkušební vzorku blížil podmínkám běžné praxe. Požární zkouška nesmí být provedena dříve, než vzorek dosáhne rovnovážné vlhkosti při uložení ve vnějším prostředí s relativní vlhkostí vzduchu 50% a teplotě 23 °C. V průběhu vlastní požární zkoušky musí být teplota okolního vzduchu (v okolí zkušební pece) na počátku zkoušky v rozmezí 10°C až 40 °C. Teplota se měří ve vzdálenosti 1 m až 3 m od neexponované strany zkušební vzorku. Další podmínkou je, že teplota okolního vzduchu v průběhu požární zkoušky nesmí poklesnout o více než 10 K a vzrůst o více než 20 K. Pět minut před zahájením požární zkoušky se zkontroluje počáteční teplota v peci. Teplota v peci před zahájením zkoušky musí být menší než 50 °C. Zkontrolují se hodnoty, které zaznamenávají jednotlivá teplotní čidla aby se stanovily počáteční hodnoty měření. Čas požární zkoušky se začíná zaznamenávat ve chvíli, kdy dojde k zapálení hořáků a řídicí systém pece začne sledovat teplotní křivku (viz Obr. 43). Od této chvíle se začínají měřit hodnoty teplot všech termoelektrických článků každou minutu. Maximální teplota v peci v průběhu požární zkoušky byla v 90. minutě 1006 °C. Nárůst teploty v peci je dán teplotní křivkou danou vztahem [31]:

$$T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20 \quad (6)$$

Kde je

$T$  [°C] průměrná teplota  
 $t$  [min] čas

V průběhu požární zkoušky může teplota v peci dosáhnout odchylek od hodnot normové teplotní křivky. Odchyly se uvádí v procentech a jsou uvedeny v kapitole 5.1.2 normy [29]. Odchyly od teplotní křivky se stanoví vždy v časových úsecích 5 min až 10 min, 10 min až 30 min, 30 min až 60 min a od 60 minuty požární zkoušky.



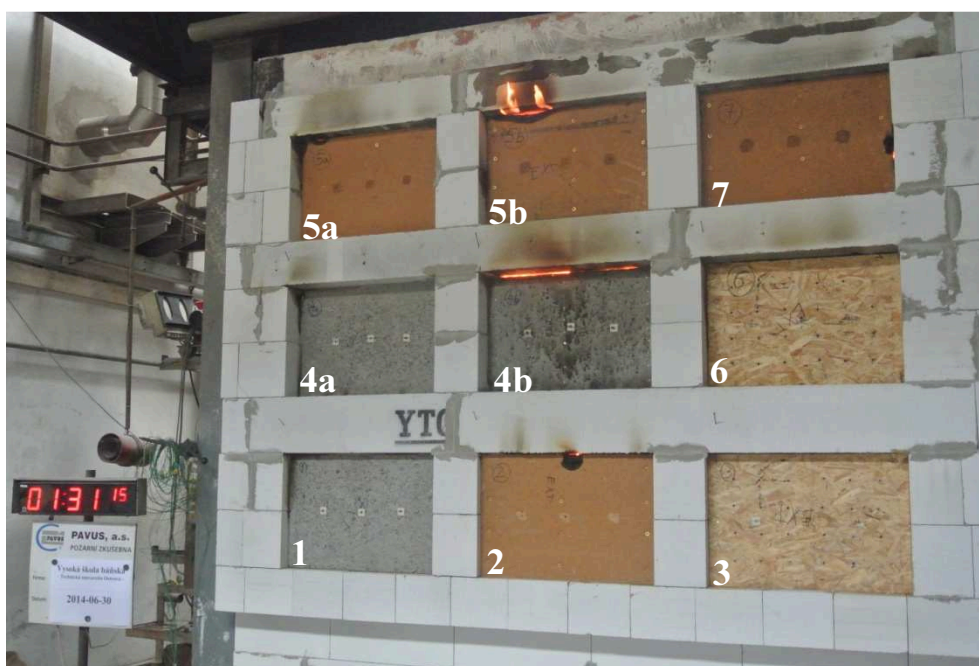
Obr. 43 Základní průběhy teplot v peci pro vnější a vnitřní požár, zdroj <http://stavba.tzb-nfo.cz> [37]

Požární zkouška je ukončena po dosažení některého z měřených mezních stavů, je-li ohrožena bezpečnost personálu, hrozí-li poškození zkušebního zařízení nebo na žádost objednatele zkoušky. V případě předběžné velkoformátové požární zkoušky devíti zkušebními segmentů vyplněných drcenou slámou a rozvlákněnou celulózou byla požární zkouška ukončena po dosažení kritéria celistvosti v 91. minutě. V 89. minutě byl v průběhu zkoušky zaznamenán trvalý plamen z horní spáry mezi vzorkem č. 5b (viz Obr. 44) a podpěrnou konstrukcí z pěnasilikátových tvárnic. Ostatní zkušební vzorky vyplněné drcenou slámou (vzorek č. 4b, vzorek č. 7) i vzorky vyplněné celulózou byly bez porušení po dobu zkoušky 91. minut. U vzorků v horní polovině pece došlo k průniku horkých plynů vždy na horní hraně vzorků. Nedošlo však k zapálení bavlněného polštářku. V 91. minutě se objevil trvalý plamen i v horní části vzorku č. 4b a následně byla zkouška ukončena (viz Obr. 45). Vzorky č. 5b, č. 4b, č. 7 byly vyplněny drcenou slámou. Ostatní zkušební vzorky byly vyplněny rozvlákněnou celulózou. Označení jednotlivých zkušebních vzorků je převzato z protokolu zkušební laboratoře PAVUS, a.s., který požární zkoušku prováděl.





Obr. 44 Průběh předběžné velkoformátové požární zkoušky v 89. minutě zkoušky s označením jednotlivých vzorků

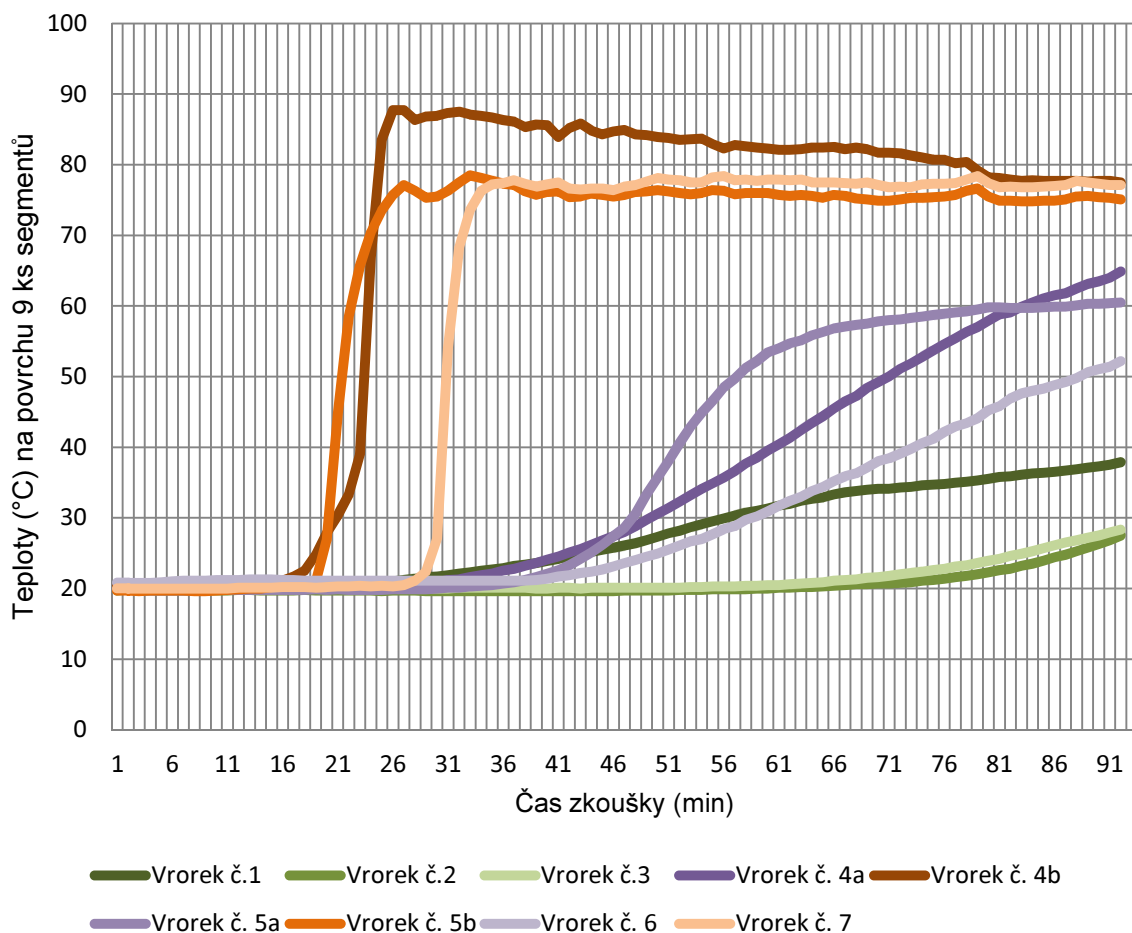


Obr. 45 Průběh požární zkoušky v 91. minutě

Kritéria mezního stavu *I* – izolace nebylo v průběhu požární zkoušky dosaženo. V průběhu zkoušky byly zaznamenávány teploty na povrchu neexponované strany v každé minutě zkoušky. Ve výsledné tabulce jsou uvedeny teploty v desetiminutových intervalech. Hodnoty teplot z termoelektrických čidel všech měřených vzorků (s drcenou slámou i celulózou) jsou uvedeny v tabulce Tab. 20. Nejvyšší teplota na neexponovaném povrchu byla naměřena u vzorku č. 4b. Povrchová teplota  $T_{\max}$  vzorku č. 4b dosáhla v 91. minutě 87,7 °C. Maximální povrchová teplota  $T_{\max}$  vzorku č. 5b byla 78,5 °C a vzorku č. 7 78,4 °C.

Vzorek č. 4b byl z exponované strany opláštěný sádrovláknitou deskou Fermacell tl. 12,5 mm (třída reakce na oheň A2) a ze strany odvrácené požáru cementoštěpkovou deskou Velox WS tl. 25 mm (třída reakce na oheň A2-s1). Dle předpokladů měla mít tato skladba v porovnání s ostatními skladbami lepší požární odolnost. Tato domněnka se však v průběhu zkoušky nepotvrdila a skladby, které byly z požární strany opláštěné hořlavou deskou OSB 3 Superfinish ECO tl. 15 mm (třída reakce na oheň D) dosáhly lepších celkových výsledků. V porovnání se zkušebními vzorky vyplněnými rozvlákněnou celulózou dosáhla povrchová teplota u všech vzorků s drcenou slámou vyšších hodnot. Porovnání průběhu povrchových teplot všech zkušebních segmentů je znázorněno v grafu Graf. 3. Zkušební vzorky vyplněné drcenou slámou jsou v grafu znázorněny hnědou barvou. Zkušební vzorky vyplněné celulózou jsou znázorněny barvou zelenou a fialovou.

Graf. 3 Průběh povrchových teplot na neexponované straně zkušebních vzorků





Tab. 20 Teploty na povrchu jednotlivých zkušebních vzorků na neexponované straně zkušební pece

**TEPLOTY (°C) - na povrchu 9 ks výsečí**

Čas t	TC - vzorek č. 1					TC - vzorek č. 2					TC - vzorek č. 3				
(min)	30	31	32	$T_{prům}$	$T_{max}$	33	34	35	$T_{prům}$	$T_{max}$	36	37	38	$T_{prům}$	$T_{max}$
PHMV	19	19	19	19	19	18	18	19	18	19	19	19	19	19	19
0	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
30	21	22	21	21	22	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
40	22	24	23	23	24	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
50	25	27	28	27	28	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
60	29	30	32	30	32	20	20	20	20	20	20	20	21	20	21
70	31	32	34	32	34	20	20	21	20	21	21	21	22	21	22
80	34	34	36	34	36	22	21	23	22	23	23	21	24	23	24
90	36	37	38	37	38	25	22	27	24	27	27	22	28	26	28
91	36	38	38	37	38	25	22	28	25	28	27	22	28	26	28
Čas t	TC - vzorek č. 4a					TC - vzorek č. 4b					TC - vzorek č. 5a				
(min)	39	40	41	$T_{prům}$	$T_{max}$	42	43	44	$T_{prům}$	$T_{max}$	48	49	50	$T_{prům}$	$T_{max}$
PHMV	20	20	19	19	20	19	20	20	20	20	19	19	19	19	19
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	22	30	21	25	30	20	20	20	20	20
30	21	21	21	21	21	87	61	70	73	87	20	20	20	20	20
40	24	25	24	24	25	84	75	77	79	84	21	23	20	21	23
50	31	30	31	31	31	84	77	79	80	84	38	34	23	32	38
60	40	37	39	39	40	82	77	79	79	82	54	48	38	46	54
70	50	44	48	47	50	82	77	77	79	82	58	54	46	53	58
80	59	52	57	56	59	78	77	77	78	78	60	58	50	56	60
90	64	57	64	62	64	78	76	77	77	78	60	60	51	57	60
91	64	58	65	62	65	78	77	78	77	78	61	60	52	57	61
Čas t	TC - vzorek č. 5b					TC - vzorek č. 6					TC - vzorek č. 7				
(min)	51	52	53	$T_{prům}$	$T_{max}$	45	46	47	$T_{prům}$	$T_{max}$	54	55	56	$T_{prům}$	$T_{max}$
PHMV	19	19	19	19	19	19	20	19	19	20	20	20	20	20	20
0	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20
20	24	25	45	31	45	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
30	69	68	76	71	76	21	21	20	21	21	24	32	54	37	54
40	71	73	76	73	76	21	22	21	21	22	73	72	78	74	78
50	72	75	76	74	76	21	26	24	24	26	75	75	78	76	78
60	72	76	76	74	76	21	32	31	28	32	74	76	78	76	78
70	71	75	74	73	75	22	38	38	33	38	74	76	77	75	77
80	71	75	74	73	75	21	44	46	37	46	73	77	77	76	77
90	72	75	75	74	75	22	48	51	40	51	74	38	77	63	77
91	73	75	75	74	75	22	49	52	41	52	74	38	77	63	77

Teploty snímány a zaznamenávány každou minutu, v tabulce zobrazeny v intervalu max. 10 minut

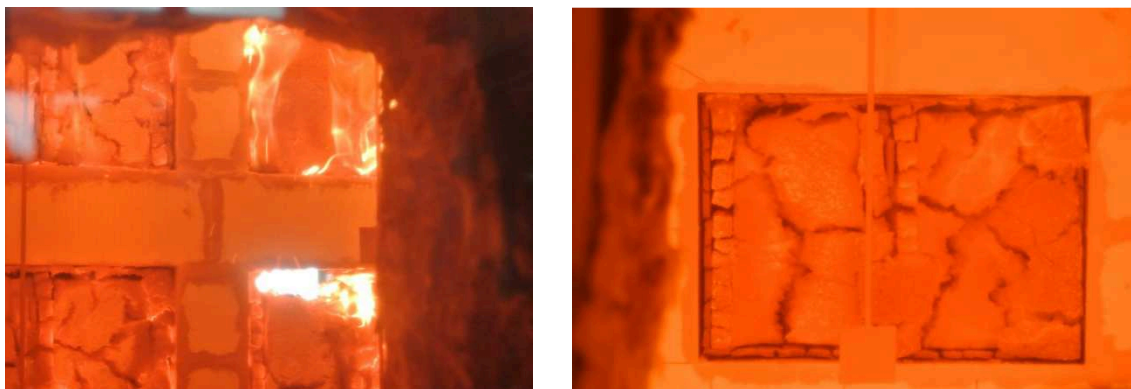
#### 5. 7. 4 *Vyhodnocení předběžné velkoformátové požární zkoušky*

Při vyhodnocení výsledků předběžné velkoformátové požární zkoušky je nutno uvést, že cílem zkoušky bylo otestovat jakým způsobem se budou konstrukce chovat v případě požáru a také získat důležitá data pro provedení standardní velkoformátové požární zkoušky. U zkušebních vzorků vyplněných drcenou slámou se jednalo o první požární zkoušku podobného rozsahu v celosvětovém měřítku a nebylo tedy možné vycházet z dostupných informací. U zkušebních vzorků vyplněných rozvlákněnou celulózou bylo možno průběh zkoušky odhadnout z již dříve provedených požárních zkoušek. Velkoformátová předběžná požární zkouška byla spíše zaměřena na otestování chování celé konstrukce s *LAG* nosníky při požáru před provedením standardních velkoformátových požárních zkoušek provedených v druhé polovině roku 2015.

Z naměřených hodnot povrchových teplot na neexponované straně a z chování zkušebních vzorků z hlediska mezního stavu celistvosti a izolace v průběhu požární zkoušky je možno stanovit předběžnou hodnotu požární odolnosti *EI* (min). Jelikož byly zkušební vzorky konstruovány jako vícevrstvá konstrukce s dřevěnými nosnými prvky (dřevostavba) je nutno doplnit hodnotu požární odolnosti *EI* o údaj zatřídění konstrukčních částí a dílců dle kategorie *DP1* - *konstrukční systém nehořlavý*, *DP2* - *konstrukční systém smíšený*, *DP3* - *konstrukční systém hořlavý* [31]. Pro zatřídění konstrukčních částí a dílců do jednotlivých kategorií je rozhodující třída reakce na oheň materiálu, z něhož je vyrobena nosná část konstrukce a její vliv na intenzitu požáru. Konstrukční systém nehořlavý *DP1* může obsahovat pouze nehořlavé nosné prvky třídy reakce na oheň *A1* až *A2* (pro objekty s výškou do 2,5 m). Konstrukce, které mají nosné prvky z materiálů třídy reakce na oheň *A2* (pro objekty s výškou nad 2,5 m) až *D* mohou být zatříděny do kategorie *DP2* případně *DP3*. Pro zatřídění do kategorií *DP2* nebo *DP3* je pak rozhodující třída reakce na oheň materiálů, ze kterých je vytvořeno opláštění konstrukce. V praxi je zatřídění konstrukčních částí a dílců velmi důležité a příslušné normy přesně stanoví, jaké kategorie konstrukcí mají být použity pro daný prostor (např. nosné stěny, dělicí stěny, vodorovné nosné konstrukce, apod.). Zatřídění do kategorií dle druhu konstrukčních částí je „Českou specialitou“ a tuzemské požadavky na konstrukce dřevostaveb z hlediska požární bezpečnosti jsou i díky této skutečnosti jedny z nejprísnejších v Evropě.

Zkušební segmenty testované v rámci předběžné velkoformátové požární zkoušky obsahovaly nosné prvky ze dřeva, tedy hořlavého materiálu třídy reakce na oheň *D*. Opláštění exponované strany vzorku č. 4b a č. 7 tvořila sádrovláknitá deska Feramcell FC třídy reakce

na oheň *A2*. Oba vzorky by mohly být teoreticky zaříděny do kategorie DP2 – *konstrukční systém smíšený* dle druhu konstrukční části. Zkušební segment č. 5b byl z požární strany opláštěný hořlavou OSB deskou třídy reakce na oheň *D*. Může být tedy klasifikován pouze do kategorie DP3 - *konstrukční systém hořlavý*. Pro stanovení doby požární odolnosti konstrukcí kategorie DP2 je rozhodující doba (min) dosažení některého z mezních stavů (např. *R* - nosnost, *E* - celistvost, *I* – izolace) a také celistvost povrchových vrstev, tedy opláštěujících desek. Pro povrchové vrstvy platí, že musí omezit hoření nosných částí a tepelných nebo zvukových izolací tak, aby v požadované době nedosáhlo jejich bodu vzplanutí a tím nedošlo k jejich odhořívání a ke zvýšení intenzity požáru v hořícím prostoru [31]. Jako výsledná doba požární odolnosti se pak vždy bere menší ze sledovaných hodnot. Doba požární odolnosti se udává v časových intervalech uvedených v Tab. 19. V průběhu předběžné velkoformátové požární zkoušky byla na neexponované straně pece u zkušebních segmentů sledována doba (min) dosažení mezních stavů (*E*, *I*) a doba, po kterou bude zajištěna celistvost opláštění segmentů rozhodující pro zařídění do kategorií DP3 nebo DP2. Dosažení mezních stavů bylo sledováno vizuálně a pomocí metod uvedených v kapitole 5. 7. 1. Celistvost opláštěujících desek exponované části zkušebních segmentů byla sledována vizuálně. Ukázka průběhu požáru v exponované části zkušební pece je znázorněn na Obr. 46, kde můžeme vidět porušení celistvosti opláštěujících sádrovláknitých desek (třída reakce na oheň *A2*) a postupné odhořívání opláštěujících desek z OSB (třída reakce na oheň *D*).



Obr. 46 Exponovaná strana zkušebních segmentů v průběhu velkoformátové předběžné požární zkoušky

Po odhoření nebo odpadnutí opláštěujících desek začínají postupně hořet nosné prvky konstrukce. Taková konstrukce již nemůže být klasifikována do kategorie DP2. Průběh požární zkoušky a chování zkušebních segmentů se dá teoreticky odhadnout z průběhu teplot měřených na neexponovaném povrchu a v konstrukci segmentů. Při provedené požární zkoušce zkušebních segmentů s drcenou slámou a celulózou však byla měřena pouze

povrchová teplota na neexponované straně, přímo v konstrukci zkušebních segmentů teplotní čidla umístěna nebyla. Odhad chování zkušebních segmentů v průběhu požární zkoušky byl proveden na základě vizuálního pozorování exponované strany pece a naměřených povrchových teplot (viz Tab. 20). Průběh povrchových teplot znázorněných v Graf. 3 a Tab. 20 ukazuje rozdíly v chování segmentů vyplněných drcenou slámou (třída reakce na oheň *D*) a foukanou celulózou (třída reakce na oheň *B – s1 – d0*). U segmentů vyplněných drcenou slámou došlo po odhoření, nebo odpadnutí opláštěujících desek k rychlému nárůstu povrchové teploty na neexponované straně. V průběhu časového úseku pěti minut se povrchová teplota zvýšila až k maximální hodnotě naměřené během požární zkoušky. Např. u vzorku č. 4b byla v 21. minutě zkoušky naměřena průměrná povrchová teplota  $T_{\text{prům}} 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Maximální průměrná teplota  $T_{\text{prům,max}} 88\text{ }^{\circ}\text{C}$  byla u vzorku č. 4b dosažena v 25. minutě zkoušky. Zkušební vzorek č. 4a složený ze stejných materiálů vyplněný foukanou celulózou vykázal ve stejném časovém úseku nárůst průměrné povrchové teploty  $T_{\text{prům}}$  z  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Podobný průběh povrchových teplot byl u všech zkušebních segmentů. Důvodem rychlého nárůstu povrchových teplot u segmentů vyplněných drcenou slámou je horší třída reakce na oheň než má foukaná celulóza. Dá se předpokládat, že průběh šíření požáru po povrchu zkušebních segmentů vyplněných drcenou slámou po odhoření nebo odpadnutí opláštěujících desek odpovídá průběhu šíření plamene při zkoušce zápalnosti drcené slámy popsané v kapitole 5. 4. V průběhu zkoušky zápalnosti došlo k povrchovému zapálení drcené slámy. Povrch zkušební vzorku však velmi rychle zuhelnatěl a plamen po oddálení hořáku uhasl a dále se nešířil (viz Obr. 27). Obdobně se choval povrch zkušebních segmentů s tepelnou izolací z drcené slámy. Po odpadnutí nebo odhoření opláštěujících desek došlo k zapálení drcené slámy na exponovaném povrchu. Po zuhelnatění vnější vrstvy drcené slámy se plameny dále nešířily do hlubších vrstev a postupně docházelo k poklesu povrchových teplot na neexponované straně. Drcená sláma zafoukaná ve zkušebních segmentech na objemovou hmotnost  $90\text{ kg.m}^{-3}$  v průběhu požární zkoušky nevypadla a dokázala tak částečně chránit nosné prvky před působením plamene. U dřevěných svislých nosných prvků došlo pouze k postupnému odhořívání povrchů přímo vystavených požáru. Ostatní povrchy nosných prvků zůstaly bez vážného porušení a v případě reálného požáru by u nosných konstrukcí nedocházelo k rychlé ztrátě únosnosti (mezní stav požární odolnosti *R – nosnost*). Na základě naměřených hodnot povrchových teplot na neexponované straně pece a chování zkušebních segmentů v průběhu zkoušky byly stanoveny orientační hodnoty požární odolnosti *EI* (min). Dále bylo provedeno orientační zatřídění zkušebních segmentů dle druhu konstrukčních částí do kategorií *DP2* a *DP3* jsou uvedeny v Tab. 21.

Tab. 21 Orientační hodnoty požární odolnosti zkušebních segmentů *EI* (min)

Číslo zkušebního segmentu	Požární odolnost zkušebního segmentu pro kategorii DP3	Požární odolnost zkušebního segmentu pro kategorii DP3
	Segmenty vyplněné drcenou slámou	
4b	EI 90 DP3	EI 15 DP2
7	EI 90 DP3	EI 15 DP2
5b	EI 60 DP3	-
	Segmenty vyplněné celulózou	
1	EI 90 DP3	EI 15 DP2
2	EI 90 DP3	EI 15 DP2
3	EI 90 DP3	-
4a	EI 90 DP3	EI 15 DP2
5a	EI 90 DP3	EI 15 DP2
6	EI 90 DP3	-

Požární odolnost *EI* většiny zkušebních segmentů v kategorii *DP3* je 90 min. Dá se předpokládat, že některé zkušební segmenty by dosáhly i větší požární odolnosti. Předběžná požární zkouška však byla ukončena v 91. minutě a proto byla požární odolnost stanovena na hodnotě *EI* 90. Pouze zkušební segment č. 5b dosáhl hodnoty *EI* 60 *DP3*. U tohoto segmentu se v 89. minutě zkoušky objevil trvalý plamen na neexponované straně. Porušení mezního stavu *E* – celistvosti a *I* – izolace nastalo před 90. minutou zkoušky a dle normy [16] má segment č. 5b požární odolnost *EI* 60 *DP3*. Dosažená hodnota požární odolnosti by v praxi umožnila navrhovat nosné konstrukce z měřených skladeb až do IV. stupně požární bezpečnosti požárního úseku (viz Tab. 17). Překvapivě dobré hodnoty požární odolnosti dosáhly i zkušební segmenty č. 3 a č. 6. Tyto segmenty byly opláštěné z obou strana hořlavou *OSB* deskou. Na neexponované straně pak byla oplášťující *OSB* deska perforována kruhovými otvory (viz Obr. 39). Před zahájením požární zkoušky se předpokládalo, že oba zkušební segmenty dosáhnout hodnoty požární odolnosti maximálně *EI* 15 *DP3*. V celém průběhu požární zkoušky nebylo u segmentů č. 3 a č. 6 dosaženo ani jednoho z mezních stavů a oba dosáhly hodnoty požární odolnosti *EI* 90 *DP3*. V druhé polovině roku 2014 byla provedena velkoformátová požární zkouška zkušebního segmentu se skladbou shodnou s vzorky č. 3 a č. 6. Jednalo se o zkoušku pod zatížením a bylo možno stanovit požární odolnost *REI*. Zkušební segment dosáhl hodnoty *REI* (*REW*) 30 *DP3*. Předběžné velkoformátové zkoušky byly provedeny v požární laboratoři PAVUS a.s. Veselí nad Lužnicí.

## 5. 8 Zhodnocení výsledků výzkumu požárních charakteristik drcené slámy

Ověření požárních parametrů v rámci výzkumu vlastností drcené slámy prokázalo, že drcená sláma umístěná v konstrukci nepřispívá intenzivně k šíření požáru. Na základě výsledků provedených požárních zkoušek je možné vyvrátit mýtus, že domy ze slámy snadno a rychle hoří. Podmínkou dosažení požární odolnosti ale je, aby byla drcená sláma v konstrukcích hutněna. Objemová hmotnost aplikované drcené slámy v konstrukcích by měla být min  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ . Při dodržení těchto podmínek se plamen působící na povrch po určitou dobu nedostane hlouběji do konstrukce. U konstrukčních skladeb **4b** a **7** (Tab. 21) byla tato doba 15 minut. Povrch vystavený působení plamene se „zapeče“ tedy částečně uzavře a zabrání tak dalšímu šíření plamene. Po určitou dobu je izolace z drcené slámy schopna ochránit proti požáru nosnou konstrukci a zvýšit tak její požární odolnost.

## 6. Stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti drcené slámy

Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  (Thermal Conductivity Coefficient) je základní fyzikální veličinou pomocí které se definují tepelně izolační parametry stavebních materiálů. Součinitel tepelné vodivosti vyjadřuje tepelnou vodivost dané látky. Jedná se tedy o měrnou tepelnou vodivost. Tepelnou vodivostí označujeme schopnost látky vést teplo a představuje rychlost s jakou se teplo látkou šíří ze zahřátých částí do chladnějších částí látky. Součinitel tepelné vodivosti stejnorodého izotropního materiálu je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{q}{-\text{grad } \theta} \quad (7)$$

Kde je

$\lambda$  [ $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ] součinitel tepelné vodivosti,

$q$  [ $\text{W.m}^{-2}$ ] vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým izotropním materiálem

$\text{grad } \theta$  [ $\text{K.m}^{-1}$ ] gradient teploty

Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  je definován jako množství tepla, které projde za jednotku času kvádrem materiálu o objemu  $1 \text{ m}^3$ , kdy jedna strana bude mít o 1 kelvin vyšší teplotu než druhá. Předpokládáme, že se jedná o jednorozměrné šíření tepla, tedy že teplo prochází látkou pouze jedním směrem. Čím je hodnota součinitele prostupu tepla nižší, tím materiál vede teplo pomaleji a jedná se kvalitnější tepelný izolant. Hodnota součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů závisí zejména na vlhkosti, teplotě, homogenitě a dalších parametrech. V rámci výzkumu vlastností drcené slámy byla provedena série měření s cílem stanovit součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ). Měření součinitele tepelné vodivosti na FAST probíhalo za pomoci chladicí skříně. Metoda a postup měření jsou popsány v této kapitole. Pro srovnání bylo provedeno také srovnávací měření v akreditované laboratoři TZUS Ostrava.

### 6.1 Součinitel tepelné vodivosti ve stavební praxi

Ve stavební praxi se můžeme setkat s několika hodnotami součinitele tepelné vodivosti. Jedná se o hodnoty deklarované, charakteristické, návrhové a naměřené. Každá z hodnot je definována pro určité okrajové podmínky a zejména při navrhování stavebních konstrukcí je nutné zvolit pro tepelně technické posouzení navrhovaných konstrukcí správnou z hodnot. Pro výpočet součinitele prostupu tepla  $U$  ( $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ) a tepelného odporu

$R \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}$  stavebních konstrukcí se v praxi používá návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti  $\lambda_u$ .

#### *6. 1. 1 Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda_D$*

Deklarovaná hodnota je hodnota stanovená výrobcem podle příslušné výrobní normy při definovaných podmínkách (střední teplota při měření  $10 \pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ; vlhkost zkušebních vzorků, která je dána kondicionováním zkušebních vzorků nejméně 6 h při teplotě vzduchu  $\theta_a = 23 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti vzduchu  $\phi_a = 50 \pm 5 \text{ \%}$ , tedy ve stavu neustálené sorpční, popř. desorpční vlhkosti  $u_{23/50}$  – některé normy výrobku upřesňují kondicionování zkušebních vzorků). Pro jednotlivé tepelněizolační materiály se postupuje dle norem příslušného výrobku. Deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti mohou tvořit podklad pro stanovení návrhových hodnot.

#### *6. 1. 2 Charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda_k$*

Charakteristická hodnota je odvozena pro stanovenou charakteristickou hodnotu vlhkosti  $u_{23/80}$ . Charakteristická hmotnostní vlhkost  $u_{23/80}$  je rovnovážná sorpční hmotnostní vlhkost materiálu, stanovená za podmínek teplota vzduchu  $\theta_a = 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  a relativní vlhkost vzduchu  $\phi_a = 80 \pm 3 \text{ \%}$ . Při uvádění výrobků na trh v České republice, na které se vztahují příslušné evropské harmonizované normy výrobku, nemají povinnost výrobci uvádět charakteristické hodnoty. Obvykle uvádějí pouze deklarované hodnoty dle příslušných referenčních podmínek. S ohledem na tuto skutečnost to znamená, že je třeba při návrhu výrobku do stavby postupovat s určitou znalostí těchto vlastností. Charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti lze stanovit z deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti (hodnota stanovena v suchém stavu) dle vztahu:

$$\lambda_k = \frac{\lambda_D}{1 - Z_u \cdot \omega_{mk}} \quad (8)$$

Kde je

$\lambda_k \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$  charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti,

$\lambda_D \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$  deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti,

$Z_u$  vlhkostní součinitel dle přílohy A1 v ČSN 730540-3 [39],

$\omega_{mk} \text{ [%]}$  charakteristická vlhkost materiálu, obvykle  $u_{23/80}$ .



POZNÁMKA: Postup stanovení charakteristické hodnoty součinitele tepelné vodivosti stanoví ČSN 72 7014 [38] Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu, Vyhodnocení zkoušek [38].

#### **6. 1. 3 Návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda_u$**

Návrhová hodnota je odvozena pro určené teplotní a vlhkostní podmínky, popř. mechanické namáhání. Určené tepelné a vlhkostní podmínky musí odpovídat tepelnému a vlhkostnímu namáhání a způsobu zabudování výrobku do stavby a užívání dané konstrukce, čímž se zajišťuje bezpečný návrh stavebních konstrukcí. Návrhové hodnoty vlastností vybraných stavebních výrobků jsou uvedeny v tabulkách v přílohách ČSN 73 0540-3 [39] a jsou stanoveny pro nejméně příznivé zabudování výrobku do stavební konstrukce. Návrhové hodnoty vlastností stavebních výrobků lze také stanovit výpočtem pro konkrétní užití, na základě charakteristických hodnot a součinitelů podmínek působení. Součinitele podmínek působení zohledňují způsob zabudování materiálu do stavební konstrukce vystavené působení venkovního i vnitřního prostředí.

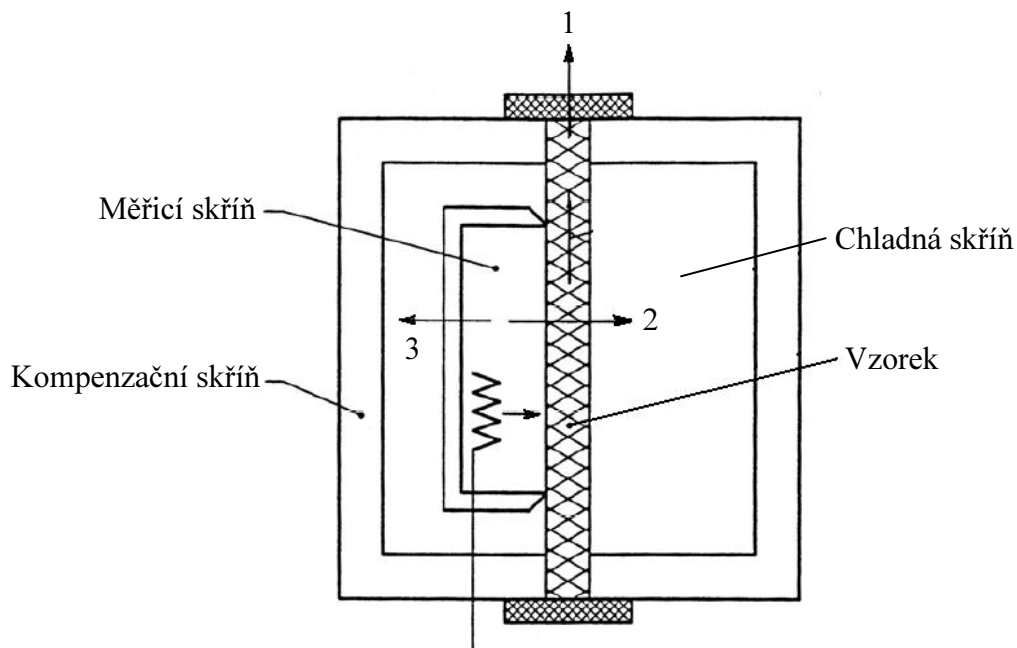
#### **6. 1. 4 Naměřená hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda_m$**

Naměřená hodnota je hodnota statisticky vyhodnocená z naměřených hodnot z dostatečné četnosti zkoušek. Naměřená hodnota je vázaná na stanovené referenční podmínky při měření a stavu vlhkosti výrobku. Pokud referenční podmínky a stav určují vlastnost výrobku zabudovaného v konstrukci, lze naměřenou hodnotu použít přímo do výpočtu. V případě, že naměřená hodnota je specifikovaná dle referenčních podmínek a stavu vlhkosti určující charakteristickou hodnotu, tak tato hodnota tvoří podklad pro stanovení návrhové hodnoty.

### **6. 2 Metoda stanovení součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů**

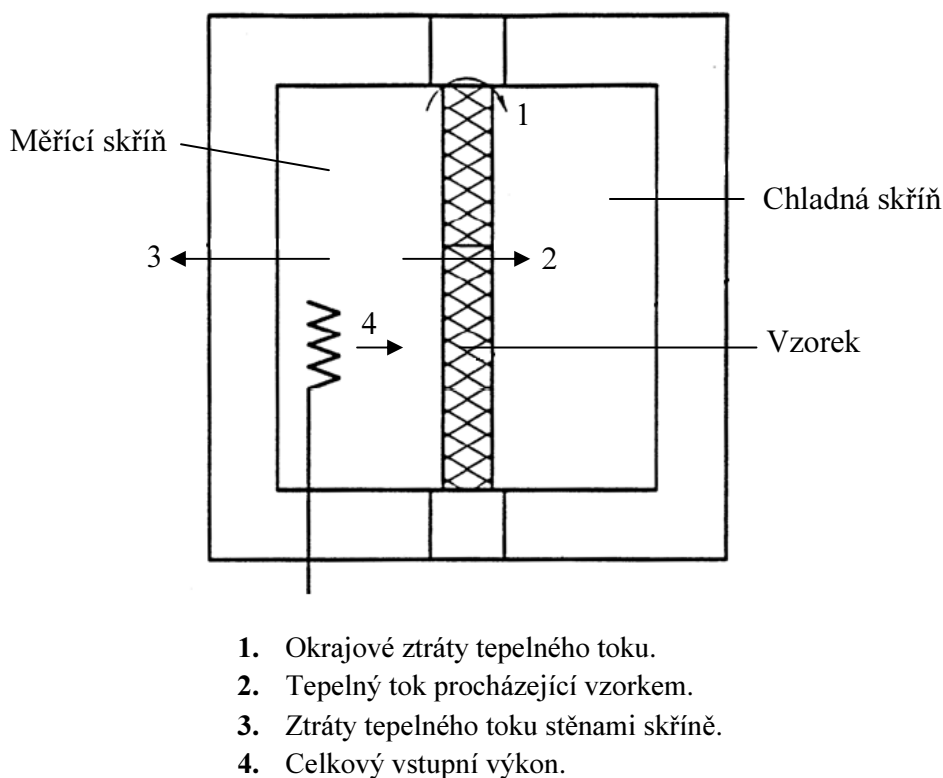
Princip metody chladicí skříně která byla využita pro měření součinitele tepelné vodivosti drcené slámy vychází z normové metody podle ČSN EN ISO 8990 „Stanovení vlastností prostupu tepla v ustáleném stavu – Kalibrovaná a chráněná teplá skřín“ [40]. Pomocí chráněné a kalibrované teplé skříně lze u stavebních materiálů stanovit hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ), tepelný odpor  $R$  ( $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ) a součinitel prostupu tepla  $U$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ) v ustáleném teplotním stavu. Měřicí skřín je složena ze tří základních částí. Z teplé části skříně kde dochází v průběhu zkoušky zvyšování teploty, až dosáhne teplotní rozdíl mezi chladnou a teplou částí skříně 20 °C. Střední část skříně je určena pro

uložení zkušební vzorku. Rozměr vzorku neboli velikost měrné plochy je dán větší hodnotou z trojnásobku tloušťky zkušební vzorku nebo rozměru  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ . Součástí střední části skříně je také izolace bočních stran zkušební vzorku. Tato izolace má za úkol eliminovat okrajové tepelné ztráty **1** (Obr. 47, Obr. 48). Stanovení okrajových (bočních) tepelných ztrát se u nesterodných materiálů provádí na základě kalibrace a stanovení kalibračního součinitele. Kalibrační součinitel se stanovuje na základě zkoušek u stejnorodých materiálů se známými hodnotami součinitele tepelné vodivosti. Tloušťka kalibračních vzorku musí odpovídat tloušťce zkoušeného nesterodného vzorku. Další možností je stanovit boční tepelné ztráty a kalibrační součinitel například pomocí metody konečných prvků. Třetí hlavní částí měřicí skříně je chladná komora. V této části je při měření nastavena teplota prostředí od  $10^\circ\text{C}$  do  $20^\circ\text{C}$ . Součástí vybavení chladné skříně jsou odporová topná tělesa, která slouží k jemnému doladění teploty v průběhu zkoušky. Materiál stěn chladné komory také musí vyloučit nebezpečí kondenzace vodní páry. Konstrukce stěn samotné chráněné a kalibrované teplé skříně musí být vyrobena z tepelně izolačních materiálů. Tepelná ztráta stěnami teplé skříně **3** (Obr. 47, Obr. 48) může mít vliv na přesnost výsledků měření maximálně  $0,5\%$ . Z důvodu vyloučení chyb měření v důsledku přenosu tepla a vlhkosti mezi jednotlivými částmi měřicí skříně musí být stěny komory vzduchotěsné a parotěsné.



1. Okrajové ztráty tepelného toku.
2. Tepelný tok procházející vzorkem.
3. Ztráty tepelného toku stěnami skříně.
4. Celkový vstupní výkon.

Obr. 47 Schéma zkušebního zařízení s chráněnou teplou skříní [40]



Obr. 48 Schéma zkušebního zařízení s kalibrovanou teplou skříní [40]

V průběhu měření pomocí chráněné a kalibrované teplé skříně se zaznamenávají teploty vzduchu v chladné  $\theta_e$  (°C) a teplé části skříně  $\theta_i$  (°C). Na povrchu zkušebního vzorku z teplé a chladné strany skříně jsou umístěna teplotní čidla pro měření povrchových teplot v interiéru  $\theta_{si}$  (°C) a exteriéru  $\theta_{se}$  (°C). Minimální počet čidel pro měření uvedených hodnot jsou dvě čidla na jeden čtverečný metr plochy zkušebního vzorku. Materiál a systém umístění čidel nesmí ovlivnit teplotu v měřeném místě. Obvykle se proto pro měření využívají termočlánky s průměrem drátu menším než 0,25 mm. Uchycení čidel pro měření povrchových teplot na povrch vzorku je řešeno pomocí lepidla nebo lepicí pásky s nízkou emisivitou povrchu. Při měření středně nestejnorodých vzorků mohou být v nestejnorodých místech různé povrchové teploty. Při měření by měla být teplotní čidla umístěna ve všech místech, kde s odlišnou povrchovou teplotou. U velmi nestejnorodých materiálů, kdy rozdíl změny povrchových teplot na povrchu vzorku převyšuje 20 % nelze uvedeným postupem stanovit hodnotu tepelného odporu  $R$ , ale pouze hodnotu součinitele prostupu tepla  $U$ . Hodnota součinitele prostupu tepla se pak stanoví na základě povrchových teplot a teplot prostředí na obou stranách vzorku podle:

$$U = q \cdot A^{-1} (\theta_i - \theta_e)^{-1} \quad (9)$$

Kde je

$U$  [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>] součinitel prostupu tepla zkušebního vzorku,

$q$ [ $\text{W.m}^{-2}$ ]	hustota tepelného toku procházejícího vzorkem.
$\theta_i$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	povrchová teplota v interiéru,
$\theta_e$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	povrchová teplota v exteriéru.

### 6. 3 Měření součinitele tepelné vodivosti drcené slámy pomocí chladicí skříně

Výzkum tepelně izolačních parametrů drcené slámy probíhal na Fakultě stavební VŠB TUO v rámci projektu SP2013/147 „Ověření vlastností foukaných přírodních izolací“. Pro stanovení součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  byla využita chladicí skříň s chladicí jednotkou. Chladicí skříň je rozdělena na dvě části. V první části je chladicím zařízením snižována teplota vzduchu. V druhé části je umístěn měřený vzorek. Standardní rozměry vzorku jsou 50/50 cm (výška/šířka). Tloušťka vzorku může být v rozmezí 10 cm až 30 cm. Pro měření součinitele tepelné vodivosti drcené slámy byla zvolena tloušťka vzorku 10 cm. Na neochlazovanou část měřeného vzorku působí teplota vnitřního prostředí, tedy teplota v místnosti. Tato teplota je proměnlivá. Měřený vzorek je v chladicí skříně umístěn svisle. Směr tepelného toku  $q$  ( $\text{W.m}^{-2}$ ) procházející měřeným vzorkem je pak vodorovný.

Rozměr měřeného vzorku pro stanovení součinitele tepelné vodivosti drcené slámy byl 50/50/10 cm. Jelikož se jedná o drcený materiál, který nelze měřit volně, bylo nutno vytvořit zkušební nádobu. Zkušební nádoba byla vyrobena z tvrzeného polystyrénu. Desky tvrzeného polystyrénu tloušťky 5 mm tvořily spodní a boční stěny zkušební nádoby. Horní stěna byla volná a sloužila pro sypání měřeného materiálu. Zkoušený materiál se po odvážení aplikoval do zkušební nádoby ručně. Zkušební nádoba bez izolace a chladicí skříně s popisem jednotlivých částí je znázorněna na Obr. 51. Po naplnění drcenou slámou byla nádoba vložena do chladicí skříně. Po usazení zkušební nádoby, byly utěsněny horní a boční strany deskami z EPS polystyrénu tloušťky 100 mm. Izolace bočních stěn a horní stěny tepelnou izolací z polystyrénu měly za cíl omezit boční tepelný tok. Spodní hrana chladicí skříně na styku se zkušební nádobou izolována nebyla. Zde je zkušební nádoba uložena na podkladní desku chladicí skříně.

Měřený vzorek a chladicí skříň byla opatřena měřicími čidly. V chladicí části bylo umístěno čidlo pro měření exteriérové teploty vzduchu  $\theta_e$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Na povrch zkušební nádoby s izolací byla z interiéru a exteriéru osazena čidla pro měření povrchové teploty  $\theta_{si}$ ,  $\theta_{se}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) ALMEMO GOF120-K1 typu NiCr-Ni. Dále byl z interiérové (neochlazované) strany zkušební vzorku osazen Alfametr pro měření hodnoty teplotního toku  $q$  ( $\text{W.m}^{-2}$ ). Na interiérové straně bylo umístěno čidlo pro měření teploty vzduchu v interiéru  $\theta_i$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) v kombinovaný snímač FHA 646-E1 s teplotním čidlem NTC interiéru. Všechna čidla byla

umístěna do středu zkušební vzorku do výšky cca. 25 cm nad úroveň podkladní desky. Po instalaci čidel bylo uvedeno do chodu chladicí zařízení. Na chladicí skříni byla nastavena teplota v exteriéru  $\Theta_e$ , která má být při měření dosažena. Standardně byla při všech měřeních nastavena teplota  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Snižování teploty v chladné části chladicí skříně postupně prochází zkušební vzorek. Po ustálení tepelného toku do rovnovážného stavu bylo spuštěno zaznamenávání měřených hodnot. Měřené hodnoty byly zaznamenány zařízením *Almemo AHLBORN* v intervalech 5 min. Z naměřených hodnot byl vypočten tepelný odpor zkušební vzorku  $R$  dle vztahu:

$$R = (\Theta_{si} - \Theta_{se}) \cdot q^{-1} \quad (10)$$

Kde je

$R [\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$  tepelný odpor zkušební vzorku,  
 $\Theta_{si} [^{\circ}\text{C}]$  povrchová teplota v interiéru,  
 $\Theta_{se} [^{\circ}\text{C}]$  povrchová teplota v exteriéru,  
 $q [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$  hustota tepelného toku.

Z hodnoty tepelného odporu  $R$  celého vzorku lze vypočítat hodnotu součinitele tepelné vodivosti izolantu  $\lambda_2$  ze vztahu:

$$R_2 = R - R_1 \quad (11)$$

$$\frac{d_2}{\lambda_2} = R \frac{\lambda_1}{d_1} \quad (12)$$

$$\lambda_2 = \frac{d_2}{\left(R - \frac{d_1}{\lambda_1}\right)} \quad (13)$$

Kde je

$R [\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$  tepelný odpor zkušební vzorku včetně zkušební nádoby,  
 $R_1 [\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$  tepelný odpor zkušební nádoby,  
 $R_2 [\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}]$  tepelný odpor měřeného vzorku – drcené slámy,  
 $\lambda_2 [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$  součinitel tepelné vodivosti měřeného vzorku,  
 $d_1 [\text{mm}]$  tloušťka materiálu zkušební formy,  
 $d_2 [\text{mm}]$  tloušťka materiálu měřeného izolantu,  
 $\lambda_1 [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$  součinitel tepelné vodivosti materiálu zkušební formy.

Pro výpočet součinitele tepelné vodivosti drcené slámy bylo nutné stanovit hodnotu  $\lambda_1 (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$  zkušební formy z tvrzeného polystyrenu. Hodnota  $\lambda_1$  byla převzata z technického listu výrobce tvrzeného polystyrenu a má hodnotu  $0,075 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Důležitým krokem pro přesnost výsledků měření součinitele tepelné vodivosti drcené slámy pomocí chladicí skříně byla kalibrace čidel, která se při měřeních používala. Čidla

pro měření tepelného toku (ALFAMETR) byla kalibrována výrobcem čidel. Příložná teplotní čidla *GOF120-K1* typu *NiCr-Ni* byla kalibrována pomocí rtuťového teploměru (Obr. 49). Rtuťový teploměr byl umístěn v nádobce s vodou. Do stejné nádoby se postupně umísťovala teplotní čidla (Obr. 50). U každého z čidel se porovnála teplota na rtuťovém teploměru s teplotou, kterou čidlo ukazovalo na přístroji AHLBORN. Jednotlivá teplotní čidla byla očíslována a u každého byla kalibrací stanovena hodnota  $\Delta\theta$  (°C). Při vyhodnocení měření pak teplota  $\Delta\theta$  byla přičtena k hodnotám zaznamenanými jednotlivými teplotními čidly. Odchylka příložných teplotních čidel zjištěných při kalibraci se pohyboval v rozsahu maximálně 0,4 °C.



Obr. 49 Sada měřicích přístrojů pro kalibraci teplotních čidel

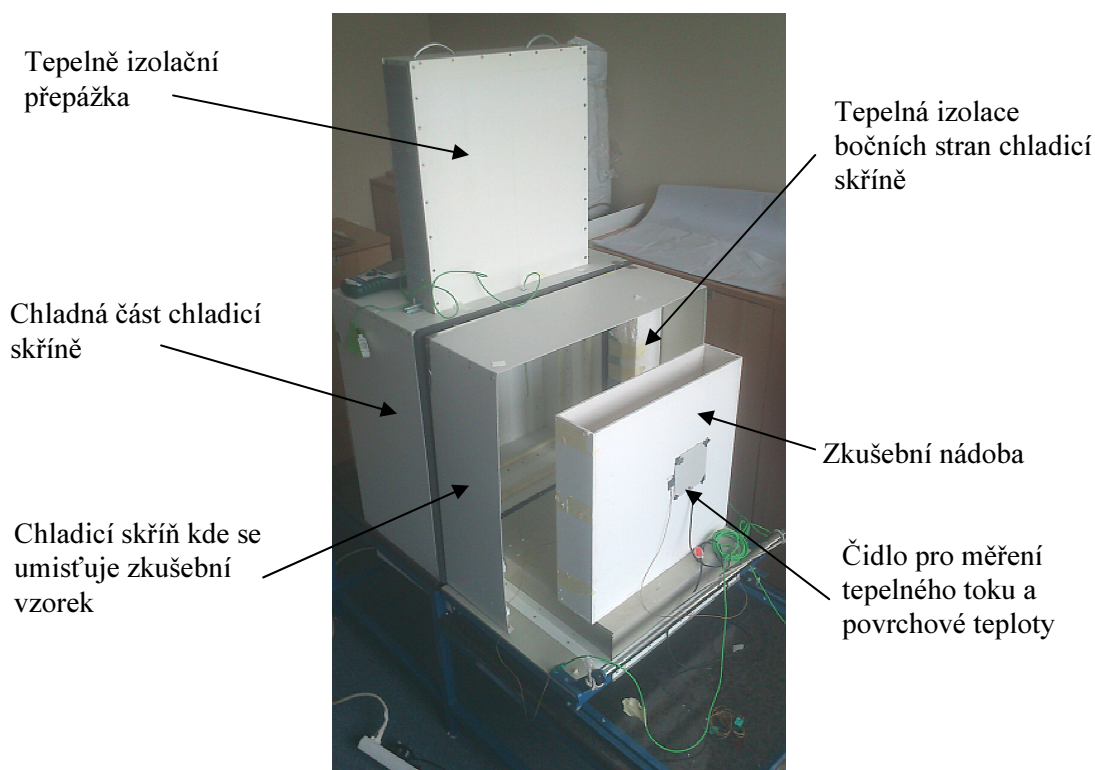


Obr. 50 Použití rtuťového teploměru pro kalibraci teplotních čidel

Pro měření součinitele tepelné vodivosti se využívala převážně dvě teplotní čidla umístěná na vnějším povrchu zkušební nádoby. Kalibrace pomocí rtuťového teploměru byla proto provedena pro tři příložná teplotní čidla, která se pro měření využívala. Výsledky kalibrace jsou uvedeny v tabulce Tab. 22. Odchylka zjištěná kalibrací se pak při vyhodnocení výsledků měření odečítala od hodnot naměřených teplotními čidly.

Tab. 22 Výsledky kalibrace příložných teplotních čidel

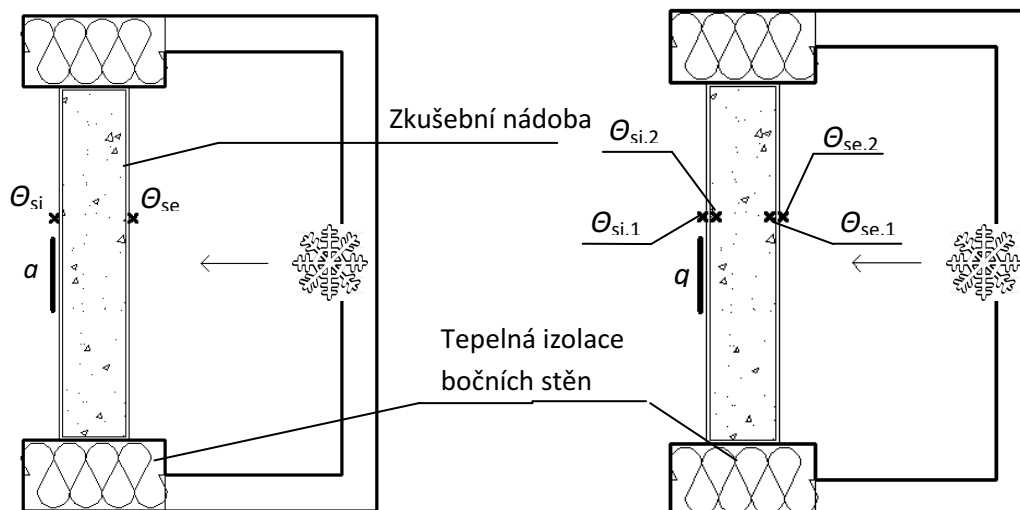
Čidlo	Naměřená teplota (°C)		Odchylka	
	Teplotní čidlo	Rtuťový teploměr	(°C)	(%)
1	19,5	19,9	0,4	2,0
1	19,7	20,0	0,3	1,5
1	20,1	20,1	0,0	0,0
2	16,9	19,7	0,1	0,5
2	19,7	19,8	0,1	0,5
2	23,0	23,4	0,4	0,7
3	23,0	23,3	0,3	1,3
3	23,2	23,2	0,0	0,0
3	23,5	23,6	0,1	0,4



Obr. 51 Chladicí skříň a zkušební nádoba pro měření součinitele tepelné vodivosti nesoudržných izolací

V rámci hledání možných chyb a zpřesnění výsledků měřeny byly při měřeních použity dvě sestavy teplotních čidel. Obě měřicí sestavy obsahovaly čidlo pro měření teplotního toku Alfametr (**a** označení na Obr. 52 a Obr. 53). Alfametr byl umístěn vždy na vnější (teplé – interiérové) straně zkušební nádoby. Měřicí sestavy se lišily umístěním příložných teplotních čidel pro měření povrchových teplot. V první měřicí sestavě byla použita dvě teplotní čidla. Čidla pro měření povrchové teploty v interiéru  $\theta_{si}$  (°C) a exteriéru  $\theta_{se}$  (°C) byla umístěna na vnějším povrchu zkušební nádoby. V druhé měřicí sestavě byla použita čtyři teplotní čidla. Dvě čidla ( $\theta_{se,1}$ ,  $\theta_{se,1}$ ) byla umístěna stejně jako v první měřicí sestavě. Další dvě čidla ( $\theta_{se,2}$ ,  $\theta_{se,2}$ ) byla umístěna na vnitřním povrchu zkušební nádoby (viz Obr. 56). Umístění čidel pro jednotlivé měřicí sestavy je znázorněno na Obr. 52 a Obr. 53. Umístění další dvojice teplotních čidel uvnitř zkušební nádoby umožnilo stanovit tepelný odpor  $R$  ( $\text{m}^2\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ) měřeného vzorku drcené slámy na základě rozdílu teplot  $\Delta\theta$  (°C) a hustoty tepelného toku  $q$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) bez nutnosti započítat do výpočtu i materiál zkušební nádoby. Tímto postupem tak bylo možno zjistit, zdali započítáním materiálu zkušební nádoby nevzniká chyba měření. Na základě výsledků měření bylo zjištěno, že obě měřicí sestavy měří podobně a umístění dvou teplotních čidel na vnějším povrchu zkušební nádoby je dostačující. Výsledky provedených měření pro dvě sestavy umístění teplotních čidel jsou uvedeny v Tab. 23.





Obr. 52 Schéma chladicí skříně a umístění měřicích čidel v první měřicí sestavě vně zkušební nádoby

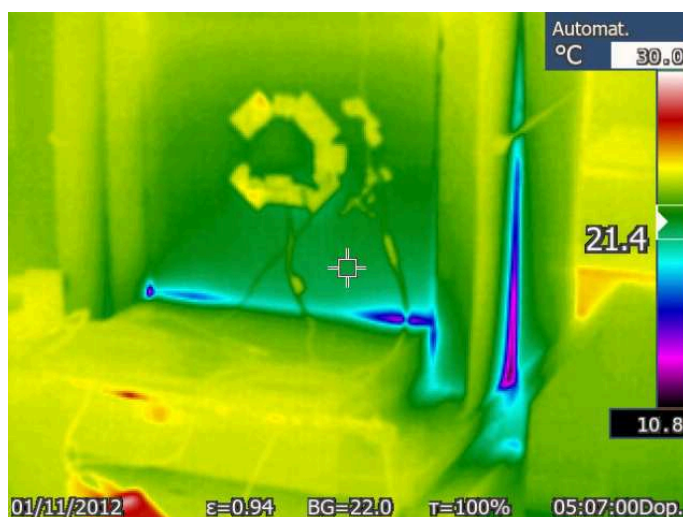
Obr. 53 Schéma chladicí skříně a umístění měřicích čidel v druhé měřicí sestavě vně + uvnitř zkušební nádoby

Tab. 23 Výsledky měření drcené slámy pro dvě sestavy umístění měřicích čidel

Číslo měření	Umístění čidel	Objem hmotnost $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	Naměřená hodnota $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Průměr $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
1	vně	93,4	0,045	0,05
2	vně	96,2	0,054	
3	vně	100,2	0,056	0,056
4	vně	100,8	0,055	
5	vně + uvnitř	98,4	0,051	0,05
6	vně + uvnitř	98,4	0,050	
7	vně + uvnitř	95,4	0,055	0,055
8	vně + uvnitř	96,0	0,055	
9	vně + uvnitř	110,2	0,054	0,058
10	vně + uvnitř	110,9	0,062	

Na přesnost výsledků měření mohou mít vliv také okrajové ztráty tepelného toku  $q_z$  (W.m<sup>-2</sup>). Ideální je omezit boční ztráty tepelného toku přímo konstrukcí měřicího zařízení. Boční stěny měřicího zařízení, které jsou v kontaktu se zkušebním vzorkem by měly být velmi dobře tepelně izolovány a utěsněny. Pro zamezení okrajových ztrát tepelného toku bočními stěnami u chladicí skříně (viz 1 Obr. 47) byl při měřeních obvod zkušební nádoby izolován tepelnou izolací z pěnového polystyrenu EPS tloušťky 100 mm. Při vyhodnocování výsledků měření se předpokládá, že tepelný tok procházející vzorkem je vodorovný a že se teplo nešíří bočními cestami. Stanovení okrajových ztrát tepelného toku lze provést na základě kalibračního měření zkušební vzorku se známými vlastnostmi. Na základě měření se pak stanoví kalibrační součinitel bočních ztrát. Jelikož je závislost mezi tloušťkou zkušební vzorku a bočními ztrátami  $q_z$  nelineární, musí tloušťka materiálu kalibračního

vzorku pokrýt celý předpokládaný rozsah zkušebního zařízení [38]. Mění-li se tepelný odpor vztažen na jednotkovou tloušťku při kalibračních měřeních významně, musí být celý postup opakován. Pro odhad okrajových ztrát lze také použít matematických postupů, např. metodu konečných prvků – *MKP*. Pro rychlé ověření, zdali jsou boční strany chladicí skříně dobře tepelně izolovány a nedochází tak k nežádoucím bočním ztrátám lze využít termografického snímkování. Pomocí termokamery lze v průběhu měření ověřit, zdali a v jakých místech dochází k únikům tepla. Pokud by termografické snímkování odhalilo velké rozdíly v povrchových teplotách na povrchu chladicí skříně, bylo by nutné provést lepší zaizolování bočních stěn dodatečnou vrstvou tepelné izolace. V rámci měření součinitele tepelné vodivosti drcené slámy bylo termografickým snímkováním (viz Obr. 54) při první sérii měření ověřeno, že konstrukce chladicí skříně a tepelná izolace bočních stěn zabraňuje bočním únikům tepla.



Obr. 54 Termografický snímek chladicí skříně v průběhu měření drcené slámy



Obr. 55 Zkušební vzorek drcené slámy ve zkušební nádobě. V drcené slámě je umístěno čidlo pro měření vlhkosti.



Obr. 56 Umístění teplotních čidel uvnitř zkušební nádoby na vnitřním povrchu bočních stěn

Součinitel tepelné vodivosti drcené slámy byl stanoven pro tři objemové hmotnosti. Pro objemovou hmotnost  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $100 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $110 \text{ kg.m}^{-3}$ . Pro každou objemovou hmotnost pak bylo měření provedeno u pěti zkušebních vzorků. Celkem bylo měřeno 15. zkušebních vzorků. Z naměřených výsledků bylo možno stanovit průměrnou hodnotu součinitele tepelné vodivosti pro danou objemovou hmotnost. Výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v Tab. 24. Vlhkost všech zkušebních vzorků byla stejná a odpovídala vlhkosti vnitřního vzduchu v místnosti, kde je umístěna chladicí skříň. Vlhkost vnitřního vzduchu byla měřena průběžně při všech měřeních a dosáhla hodnoty  $\varphi_a 50 \pm 5 \%$  což odpovídá normovým požadavkům. Vzhledem k faktu, že byla vlhkost vzduchu i zkušebních vzorků relativně stejná nebylo možno měřením určit, zdali bude mít změna vlhkosti vliv na hodnotu součinitele tepelné vodivosti. Vlivem vlhkosti na hodnotu součinitele tepelné vodivosti se zabývá projekt SGS 2016/129 a v průběhu roku 2016 bude provedena další série měření s cílem tento vliv ověřit u vybraných přírodních tepelných izolantů včetně drcené slámy. Je však nutno podotknout, že metodika měření vychází z předpokladu ustáleného teplotního toku v měřicím zařízení. U chladicí skříně využívané na FAST nelze ustálený teplotní stav dosáhnout. Dále mohou být výsledky ovlivněny bočními úniky tepla (chlada) přes boční stěny chladicí skříně. Boční strany jsou při měření tepelně izolovány a úniky tepla (chlada) by měly být velmi malé. Lze ale předpokládat že výsledky do jisté míry ovlivňují. Měření součinitele prostupu tepla materiálů konzistence podobné drcené slámě je složité i v podmínkách specializovaných laboratoří. Kalibrace a upřesnění metodiky měření pomocí chladicí skříně FAST je zajímavým vědeckým problémem sama o sobě, není však náplní této disertační práce. Z tohoto důvodu je třeba brát výsledky měření pomocí chladicí skříně jako orientační. Pro přesné stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti drcené slámy bylo provedeno srovnávací měření v akreditované laboratoři TZUS Ostrava.

Tab. 24 Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti drcené slámy pomocí chladicí skříně

Objemová hmotnost drcené slámy ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	Hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda \text{ (W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{)}$ pro jednotlivá měření					Průměr $\lambda \text{ (W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{)}$
	1	2	3	4	5	
90	0,045	0,053	0,048	0,051	0,05	0,049
100	0,055	0,054	0,055	0,057	0,050	0,054
110	0,058	0,061	0,053	0,055	0,058	0,057

Měření v akreditované laboratoři TZUS Ostrava se uskutečnila na konci ledna 2015. Metodika srovnávacího měření drcené slámy vycházela z metodiky normy ČSN EN 15101-1 [9] určené pro tepelné izolace z celulózy. Měření součinitele tepelné vodivosti bylo

v laboratoři TZUS Ostrava provedeno metodou „Stanovení tepelného odporu – vodivosti materiálů a výrobků v ustáleném tepelném stavu pomocí kalibrované teplé skříně“. Akreditovaná laboratoř TZUS Ostrava disponuje průmyslově vyráběnou teplou skříní *LaserComp* FOX 801. Zkouška stanovení součinitele tepelné vodivosti byla provedena při střední teplotě zkušebních vzorků 10 °C. Zařízení *LaserComp* FOX 801 využívá pro měření princip stanovení tepelného odporu metodou chráněné topné desky (teplé skříně). Měřicí zařízení použité při měření laboratoři TZUS Ostrava je znázorněno na Obr. 57. V tabulce Tab. 25 jsou uvedeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti drcené slámy měřené pomocí chladicí skříně a v akreditované laboratoři TZUS Ostrava.

Tab. 25 Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti drcené slámy

Objemová hmotnost drcené slámy (kg.m <sup>-3</sup> )	Průměrná hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	
	Chladicí skřín (FAST)	TZUS Ostrava
90	0,049	0,04469
100	0,054	0,04509
110	0,057	0,04552

Z hodnot uvedených v Tab. 25 je zřejmý rozdíl v hodnotách součinitele tepelné vodivosti naměřených pomocí chladicí skříně na FAST VŠB TUO a hodnotách naměřených TZUS Ostrava. Rozdíl v naměřených hodnotách je cca. 13 %. Tato hodnota je relativně velká a jasně ukazuje, že měření tepelně technických parametrů nestejnorodých materiálů je velmi složité. Rozdíl v hodnotách na měřených pomocí chladicí skříně (FAST) a pomocí teplé skříně (TZUS) může mít několik příčin. Jednou z příčin mohou být boční tepelné toky stěnami chladicí skříně a okrajové tepelné ztráty bočními stranami zkušební vzorku. Chyby v měření může způsobovat i nedokonale těsné nalepení měřiče tepelného toku (Alfametr). Ten je ve svislé poloze a je technicky jej nelze úplně těsně nalepit na povrch zkušební nádoby. Mezi Alfametrem a stěnou zkušební nádoby může vzniknout vzduchová mezera. Ta následně ovlivní hodnotu hustotu tepelného toku, který Alfametrem prochází. Příčin odchylky v měřeních může být více a v současné době probíhá kalibrace chladicí skříně s cílem zpřesnit měření.



Obr. 57 Měřicí zařízení LaserComp FOX 801, zdroj: [lasercomp.com](http://lasercomp.com) [45]

Výsledky měření součinitele tepelné vodivosti prokázaly, že drcená sláma je velmi dobrým tepelným izolantem. V porovnání s hodnotou součinitele tepelné vodivosti slaměných balíků uvedených v tabulce Tab. 3 dosahuje drcená sláma přibližně o 30 % lepší výsledky. Porovnání s ostatními přírodními izolacemi je pak uvedeno v tabulce Tab. 26 a drcená sláma je z hlediska tepelně izolačních parametrů srovnatelná.

## 7. Zhodnocení možností využití drcené slámy ve stavebnictví

Jak již bylo uvedeno v úvodu této práce, drcená sláma se v současném stavitelství příliš nevyužívá. Výsledky výzkumu však prokázaly, že drcená sláma může sloužit nejen jako surovina pro výrobu energie, ale může být využívána i jako tepelný izolant. Drcená sláma má velmi dobré tepelně izolační parametry, které jsou srovnatelné s ostatními přírodními tepelnými izolacemi. Svou strukturou je drcená sláma vhodná jako foukaná nebo sypaná tepelná izolace. Vzhledem k faktu, že je sláma považována za hořlavý materiál bylo velmi důležitou součástí výzkumu ověření jejích požárních parametrů. Požární parametry byly ověřeny sérií požárních zkoušek. Cílem zkoušek bylo stanovit třídu reakce na oheň a ověřit chování kompletních konstrukcí vyplněných drcenou slámou při požáru. Výsledky všech požárních zkoušek byly pro všechny zúčastněné překvapením. Obecně totiž panuje přesvědčení, že sláma a konstrukce ze slámy mají velmi malou požární odolnost a odolnost proti působení plamene. Z části je samozřejmě toto tvrzení pravda. Volná sláma rozdružená na jednotlivá stébla je hořlavá a každoročně tuto pravdu okusí několik majitelů slaměných stohů. Pokud ale slámu necháme ve stlačeném stavu a to v podobě slaměných balíků nebo drcené slámy nafoukané v konstrukci její požární odolnost a odolnost proti působení plamene se výrazně zvýší. Požární zkoušky provedené u drcené slámy to potvrzují. Výsledky požárních zkoušek ukazují, že drcenou slámu není pro použití ve stavebních konstrukcích nutné nijak impregnovat retardéry hoření. V tabulce Tab. 26 je uvedeno porovnání požárních vlastností nejpoužívanějších přírodních tepelných izolací. Stejnou nebo lepší třídu reakce na oheň dosáhla izolace z foukané celulózy a ovčí vlna. Izolace z celulózy je však z výroby impregnována retardéry hoření (kyselinou boritou a síranem hořečnatým). Ovčí vlna má vysokou teplotu samovznícení (560 °C až 600 °C). Z tohoto důvodu má velkou odolnost proti působení plamene i bez retardérů hoření. Průmyslově vyráběné izolace z ovčí vlny jsou pouze opatřeny ochranou proti molům (např. derivát močoviny). Ostatní přírodní tepelné izolace (dřevovláknité desky, konopí) mají třídu reakce na oheň *E*. Z hlediska dosažení vyšší požární odolnosti stavebních konstrukcí na bázi dřeva je tedy výhodnější používat izolace s lepší třídou reakce na oheň. Ty jsou schopny po určitou dobu chránit dřevěnou nosnou konstrukci před působením požáru a tím zvýšit požární odolnost celé obvodové konstrukce.

Vzhledem k předpokládanému využití drcené slámy jako foukané tepelné izolace byly v rámci výzkumu testovány také vlastnosti, které jsou pro foukané izolace specifické. Jednou z takových vlastností je sedavost. Sérií experimentálních zkoušek byla stanovena objemová hmotnost drcené slámy, která zaručí, že sláma nebude v konstrukci sesedat.

Zde se ukázala jedna z nevýhod drcené slámy a to relativně velká objemová hmotnost (min.  $100 \text{ kg.m}^{-3}$ ), na kterou je nutno slámu do konstrukcí zafoukat. V porovnání s ostatními foukanými izolacemi je objemová hmotnost drcené slámy po aplikaci až o 40 % větší. Ve spolupráci s firmou CIUR a.s. byla provedena série experimentů, při kterých byla drcená sláma aplikována foukáním do zkušebních segmentů svislých obvodových konstrukcí. Experimenty prokázaly, že drcenou slámu je možno aplikovat do konstrukcí dostupnou technologií. Výzkum vlastností drcené slámy se zaměřil také na akustické parametry konstrukcí obsahujících drcenou slámu jako tepelnou izolaci. V roce 2014 proběhla série akustických měření v akustické laboratoři CSI Zlín s cílem stanovit laboratorní hodnotu vzduchové neprůzvučnosti tří zkušebních segmentů vyplněných foukanou drcenou slámou. Zkušební segmenty představovaly svislou nosnou konstrukci dřevostavby ve třech materiálových variantách. Naměřené hodnoty vzduchové neprůzvučnosti splnily normové požadavky pro dělicí a obvodové konstrukce. Výsledky akustických měření budou publikovány v disertační práci Ing. Nadi Zdražilové z Katedry prostředí staveb a technických zařízení budov VŠB TUO.

Tab. 26 Porovnání vybraných vlastností přírodních stavebních materiálů [1]

	Konopí	Celulóza foukaná	Slaměný balík	Sláma drcená	Ovčí vlna	Dřevovláknité desky
Rozměr (mm)	Tl. 30 až 180	-	$40 \times 50 \times 60$	-	Tl. 35 až 400	20 až 240
Hustota $\rho$ ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	30 až 42	45 až 90	90	90 až 120	12,5 až 25	50 až 270
Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	0,044	0,038	0,044 až 0,063	0,045	0,038 až 0,05	0,028 až 0,048
Třída reakce na oheň	<i>E</i>	<i>C-s1 d0</i>	-	<i>C-s1 d0</i>	<i>B2</i>	<i>E</i>
Měrná tepelná kapacita $C$ ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	1600	2020	2000	1700 <sup>1</sup>	1800	2100
Faktor difuzního odporu $\mu$ (-)	1 až 2	1 až 1,3	2	-	1	2 až 5
Cena (Kč/jedn.)			30 až 50 ( $\text{Kč.kg}^{-1}$ )	4 až 10 ( $\text{Kč.kg}^{-1}$ )		34 ( $\text{Kč.kg}^{-1}$ ) <sup>2</sup>

Drcená sláma nedosahuje tepelně izolačních parametrů, které dnes mají průmyslově vyráběné syntetické izolace. Například minerální vaty nebo pěnové polystyreny dosahují hodnot součinitele tepelné vodivosti okolo  $\lambda$   $0,035 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Tato hodnota je cca. o 25 % lepší než u drcené slámy. Je třeba si však uvědomit, že součinitel tepelné vodivosti není jediným parametrem, podle kterého by se měly stavební materiály hodnotit. Zejména při výběru tepelných izolací by projektanti a investoři měli vzít v úvahu také jiná kritéria.

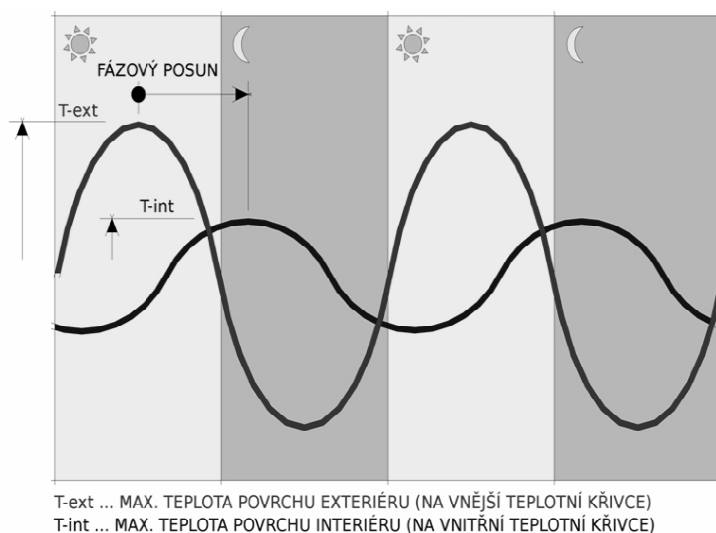
<sup>1</sup> Hodnota stanovena přístrojem ISOMET 2114 pro objemovou hmotnost  $110 \text{ kg.m}^{-3}$ .

<sup>2</sup> Cena za materiál STEICO ZELL (rozvlákněné dřevovlákněno).



Drcená sláma je jako foukaná tepelné izolace vhodná zejména pro dřevostavby. Právě u dřevostaveb je v rámci návrhu důležité zohlednit celou řadu kritérií, které například u zděných staveb projektanti řešit často nemusí. Mezi tyto kritéria patří zejména difuzní odpor materiálů. Difuzní odpor jednotlivých materiálů přímo ovlivňuje kondenzaci vodních par uvnitř obvodových konstrukcí. Difuzní odpor konstrukcí by měl klesat směrem od interiéru do exteriéru. Materiály s nízkým difuzním odporem umožňují pohyb vodní páry z místa s nižším parciálním tlakem do místa s vyšším tlakem. U dřevostaveb může mít kondenzace vodních par v obvodových konstrukcích velmi vážné důsledky. Z hlediska nebezpečí kondenzace vodních par je výhodnější používat pro tepelné izolace materiály s nízkým difuzním odporem. Ty umožní odpaření případné vlhkosti naakumulované v zimním období do exteriéru v letním období. U drcené slámy nebyl faktor difuzního odporu  $\mu$  (-) doposud stanoven. Vzhledem k její struktuře lze ale předpokládat, že faktor difuzního odporu  $\mu$  bude v rozsahu 1,5 až 2,5 (-).

Další velmi důležitou vlastností tepelných izolací používaných v dřevostavbách je také schopnost akumulace tepla. Schopnost akumulovat teplo materiálů je charakterizována jejich měrnou tepelnou kapacitou  $C$  ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ). Čím je měrná tepelná kapacita větší, tím více je materiál schopen akumulovat tepelné energie. Měrná tepelná kapacita je definována jako množství tepla potřebného k ohřátí 1 kilogramu látky o 1 teplotní stupeň. Schopnost materiálů akumulovat teplo pak má vliv na tepelnou stabilitu místností. Obecně lze říci, že konstrukce s velkou tepelnou kapacitou dokáže snížit rychlost nárůstu teploty v interiéru a tím brání jeho rychlému přehřívání. Z hlediska akumulace tepla a tepelné stability vycházejí nejlépe těžké obvodové konstrukce (masivní zdivo, beton, apod.). Schopnost konstrukce zpomalit nárůst povrchových teplot se nazývá fázový posun teplotního kmitu  $\psi$  (hod). Fázový posun teplotního kmitu je doba, za kterou se projeví zvýšení exteriérové teploty obvodové konstrukce na straně interiéru. V letním období dochází k výraznému nárůstu povrchových teplot na vnějších stranách objektu, zejména pak na stranách osluněných. Teplota z vnějšího pláště pomalu prostupuje přes obvodové konstrukce směrem do interiéru. Postupně tak dochází k ohřívání vnitřních povrchů obvodových konstrukcí a ke zvyšování teploty vzduchu uvnitř objektu. Čím je fázový posun kratší, tím rychleji k ohřívání interiérů dochází. Pokud je fázový posun delší (např. 10 hod) začnou vnější teploty ovlivňovat vnitřní prostředí objektu až ve večerních hodinách. V této době již dochází ke snižování teplot v exteriéru a začíná postupné ochlazování vnějších konstrukcí. Graficky je znázorněn fázový posun na Obr. 58.



Obr. 58 Grafické znázornění fázového posunu v průběhu dne a noci,  
zdroj:www.drevoastavby.cz [41]

Materiály s nízkou měrnou tepelnou kapacitou nejsou schopny akumulovat takové množství energie, aby byl fázový posun dostatečný (min. 10 až 12 hod). Z hlediska akumulace tepla a fázového posunu jsou pro zateplení lehkých konstrukcí nejhorší volbou tepelné izolace z minerálních nebo skelných vláken. Minerální a skelné izolace, které se v dřevostavbách obvykle využívají, mají měrnou tepelnou kapacitu  $C = 840$  až  $1150 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Přírodní tepelné izolace uvedené v Tab. 26 mají měrnou tepelnou kapacitu  $C$  od  $1600$  do  $2100 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Nízká objemová hmotnost lehkých minerálních izolací spolu s jejich malou měrnou tepelnou kapacitou má vliv na fázový posun. Při tloušťce izolace z minerální vaty  $30 \text{ cm}$  je fázový posun  $1,3$  hod. Teploty z exteriéru se velmi rychle přenesou do interiéru a dojde k výraznému přehřívání vnitřního prostředí. Při použití izolace z celulózy ( $C = 2020 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) stejné tloušťky ( $30 \text{ cm}$ ) o objemové hmotnosti  $36 \text{ kg.m}^{-3}$  vychází fázový posun  $6,6$  hod, pro objemovou hmotnost  $85 \text{ kg.m}^{-3}$  pak  $9,6$  hod. Z hlediska akumulace tepla a fázového posunu je vhodným tepelným izolantem také drcená sláma. Měrná tepelná kapacita  $C = 1700 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a objemová hmotnost  $\rho = 110 \text{ kg.m}^{-3}$  je schopna zajistit při tloušťce izolace  $30 \text{ cm}$  fázový posun  $11,4$  hod. Použitím tepelné izolace z drcené slámy, případně jiných izolací s vysokou měrnou tepelnou kapacitou lze tedy omezit přehřívání interiéru budov v letním období.

Dalším kritériem pro výběr vhodného izolačního materiálu může být dopad na životní prostředí a jejich životní cyklus – *LCA* (Life Cycle Assessment). Snaha o snížení dopadů stavebnictví na životní prostředí souvisí zejména se snahou snížit produkci skleníkových plynů zejména oxidu uhličitého a snížení potřeby energií pro výrobu a zabudování materiálů.

Mezi základní kritéria kterými se hodnotí energetická bilance stavebních materiálů, patří spotřeba primární energie *PEI*, potenciál globálního oteplování *GWP* a potenciál acidifikace prostředí *AP*. Potenciál globálního oteplování - *GWP* (Global Warming Potential) je ukazatel vlivu materiálu na globální oteplování. Jeho hodnota určuje, kolikrát více daný plyn přispívá ke skleníkovému jevu než plyn  $\text{CO}_2$  [42]. Při vyhodnocování *GWP* se hodnotí svázané emise  $\text{CO}_2$  ekvivalentní. Ty udávají emise vyprodukované během celého životního cyklu daného výrobku nebo jeho části, způsobující skleníkový efekt. Ekvivalentní znamená, že se nejedná pouze o emise  $\text{CO}_2$ , ale také o emise dalších skleníkových plynů (např. metanu), jejichž skleníkový efekt je přepočítán na úroveň efektu  $\text{CO}_2$ . Udává se obvykle v kilogramech ekvivalentu  $\text{CO}_2$  ( $\text{kg CO}_2$ , ekv.). Potenciál acidifikace prostředí - *AP* (Acidification Potential) hodnotí Svázané emise  $\text{SO}_2$  udávající ekvivalentní emise vyprodukované během celého životního cyklu daného výrobku nebo jeho části, způsobující okyselování (acidifikaci) prostředí. Nejedná se pouze o emise  $\text{SO}_2$ , ale také o emise dalších plynů způsobujících okyselování prostředí, jejichž efekt je přepočítán na úroveň efektu  $\text{SO}_2$ . Udává se v gramech nebo v kilogramech  $\text{SO}_2$  ekvivalentních ( $\text{kg SO}_2$ , ekv.) nebo ( $\text{g SO}_2$ , ekv.). Primární energie - *PEI* (Primary Energy Input) udává celkovou spotřebu přírodních zdrojů energie během životního cyklu výrobku. Obvykle se udává v megajoulech (MJ). Jedná se o energii spotřebovanou na těžbu surovin, výrobu a dopravu stavebního materiálu. Pro drcenou slámu nebyly ekologické parametry zatím stanoveny. Vzhledem k nutnosti vynaložit energii na drcení slaměných balíků nebo volné slámy bude hodnota *PEI* u drcené slámy větší než u slaměných balíků. Obecně ale platí, že sláma je jedním z materiálů s nejmenším dopadem na životní prostředí. Potenciál globálního oteplování *GWP* je u slámy dokonce záporný (Tab. 27). To znamená, že při růstu obilí se spotřebovává více  $\text{CO}_2$  než je potřeba pro výrobu slaměných balíků a jejich zabudování ve stavbách. Množství primární energie je také u konstrukcí ze slámy na velmi nízké úrovni. Výhodou použití slámy ve stavebnictví z hlediska dopadů na životní prostředí je i ekologicky nezávadná a energeticky nenáročná likvidace. Sláma jako odpad vzniklý při bouracích pracích může být zaorána na poli, může být uložena na kompost nebo použita pro výrobu energie ve spalovnách.

Tab. 27 Ekologické parametry vybraných stavebních materiálů [1], [43]

	Objemová hmotnost $\rho$	<i>PEI</i>	<i>GWP</i>	<i>AP</i>
jednotky	kg.m <sup>-3</sup>	MJ.kg <sup>-1</sup>	kg CO <sub>2</sub> , <sub>ekv</sub>	kg SO <sub>2</sub> , <sub>ekv</sub>
Celulóza ve stěnách	65	7,030	- 0,907	0,00341
Ovčí vlna	30	14,7	0,045	0,00266
Konopná izolace	30	27,1	- 0,377	0,00437
Sláma	90 až 110	16,8 <sup>3</sup>	- 2,2	-
Dřevovláknité deky tuhé <sup>4</sup>	260	106	-0,183	0,00688
Minerální izolace – kamenné	25 až 175	90 až 230	7 až 17	-
Minerální izolace - skelné	12 až 99	76,8 až 91	4,41 až 5,08	-
EPS polystyren	13,5 až 28	130 až 150	5,2 až 5,9	-
XPS polystyren	33	320,5	14,2	-
PUR izolace	32 až 35	280	13,4	-

Výběr vhodných materiálů pro konkrétní stavbu ovlivňuje celá řada dalších kritérií. Může zde patřit třeba způsob aplikace materiálu, požární parametry, odolnost proti vlhkosti, mechanické vlastnosti apod. Pro typického českého investora bude asi stále jedním z nejdůležitějších kritérií cena materiálu. Z hlediska ceny je sláma ve formě slaměných balíků nebo jako drcená řezanka jedním z nejlevnějších tepelných izolantů. Jelikož se nejedná o průmyslově vyráběné materiály nelze jejich cenu přesně stanovit. U slaměných balíků jsou k dispozici ceny obvyklé. Ty se u malých balíků pohybují okolo 50 Kč za ks. Obvyklé ceny se ale mohou od cen reálných výrazně lišit. U drcené slámy můžeme při stanovení cen vycházet například z ceny drcené slámy, která je na trhu dostupná jako stelivo pro koně pod obchodním názvem *MIKO-STROH*. Cena za 30 kg balení se pohybuje okolo 300 Kč, což je v přepočtu 10 Kč.kg<sup>-1</sup>. Jedná se o drcenou slámu, která je vyráběna v Maďarsku v Německé licenci. Do výsledné ceny se tak započítává cena dopravy a marže obchodníků a prodejců. Pro využití této konkrétní slámy ve stavebnictví je ale její cena příliš vysoká. Podle provedeného internetového průzkumu existuje na českém trhu pouze jeden oficiální výrobce/dodavatel drcené slámy. Ten dodává drcenou slámu jako podestýlku pro koně ve formě lisovaných pelet pod názvem *GRANOFYT*. Výrobce dodává slámu v 14 kg pytlích, nebo v Big-Bagu o hmotnosti 630 kg a 980 kg. Cena se podle údajů výrobce pohybuje od 4 Kč.kg<sup>-1</sup> (Big-Bag) do 5,80 Kč.kg<sup>-1</sup> (pytlované balení) [44]. Zajištění dobré ceny jak slaměných balíků, tak drcené slámy v dnešní době stále spíše závisí na „obchodnickém“ umění investora a jeho ochotě najít si dobrého dodavatele z řad zemědělců ve svém okolí.

<sup>3</sup> Hodnota pro obvodovou stěnu ze slaměných balíků a povrchovou úpravou.

<sup>4</sup> Hodnoty pro materiál HAFAFEST UD.

Vzhledem k ceně je výhodou drcené slámy, že ji lze vyrobit téměř kdekoli pomocí řezaček nebo drtících lisů uvedených v kapitole 3. 4 z velkých i malých slaměných balíků. Tuto mechanizaci má k dispozici v současné době většina zemědělců a jsou tedy schopni drcenou slámu vyrábět. Nevýhodou „domácí“ výroby drcené slámy však může být nerovnoměrná struktura a velikost nadrcených částí slámy. Veškeré zkoušky uvedené v této práci probíhaly na drcené slámě, která měla délku jednotlivých stébel cca. do 8 mm. Jednalo se o slámu, která byla nadrcena na velmi malé části. Pokud by byla sláma nadrcena na větší části, mohlo by to mít vliv na její vlastnosti. Velké části by mohly způsobovat problémy při aplikaci drcené slámy do konstrukcí foukáním pomocí aplikačních strojů. Při aplikaci by mohl být problém dosáhnout potřebnou objemovou hmotnost izolantu a mohly by také vznikat nezaizolované dutiny a kaverny. Dutiny a kaverny by mohly způsobovat nežádoucímu sedání izolace v konstrukcích. Nedostatečné stlačení slámy v konstrukcích by mohlo mít negativní vliv na požární odolnost celé konstrukce.

## 8. Závěr

Výzkum vlastností drcené slámy probíhal a Fakultě stavební nepřetržitě od roku 2013. Za tuto dobu se podařilo stanovit většinu vlastností drcené slámy důležitých pro její využití ve stavebnictví. Výzkum prokázal, že drcená sláma má potenciál stát se cenově dostupnou alternativou k dnes standardně využívaným foukaným tepelným izolacím. Měřením v certifikované laboratoři TZUS Ostrava byla stanovena průměrná hodnota součinitele tepelné vodivosti drcené slámy  $\lambda = 0,045 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Srovnávacím měřením pomocí chladicí skříně byla dosažena průměrná hodnota součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,053 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Hodnota součinitele tepelné vodivosti byla u obou měření stanovena na zkušebních vzorcích o objemové hmotnosti  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $100 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $110 \text{ kg.m}^{-3}$ . Pro každou objemovou hmotnost bylo měření provedeno na pěti zkušebních vzorcích. Teplota a relativní vlhkost všech zkušebních vzorků vycházela z normových požadavků [38]. Vzorky byly kondicionovány při teplotě vzduchu  $\theta_a = 23 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti vzduchu  $\phi_a = 50 \pm 5 \text{ \%}$  po dobu min. 6 hod. Jedná se tedy o deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda_D$ . Z výsledků měření je patrný rozdíl v obou hodnotách. Příčinou rozdílu může být například nehomogenita drcené slámy umístěné ve zkušební nádobě. Pro využití v praxi je možno používat hodnotu součinitele tepelné vodivosti stanovenou v akreditované laboratoři. Požárními zkouškami byly stanoveny požární charakteristiky drcené slámy. Zkouškou zápalnosti a požární zkouškou jednotlivým hořícím předmětem *SBI* byla stanovena třída reakce na oheň *C-s1 d0*. Do třídy *C* jsou zařazeny materiály, které splňují požadavky uvedené v [32] a vykazují omezení šíření plamene po exponovaném povrchu. Třída reakce na oheň byla stanovena na zkušebních vzorcích vyplněných drcenou slámou na objemovou hmotnost  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ . Předběžnou velkoformátovou požární zkouškou byly ověřeno chování konstrukcí s drcenou slámou v průběhu požáru. Požární zkouška proběhla na třech zkušebních vzorcích. Zkušební vzorky představovaly svislé obvodové konstrukce dřevostaveb v různých materiálových variantách. Dosažená požární odolnost *EI 15 DP2* až *EI 90 DP3* je velmi dobrým výsledkem. Hodnoty požární odolnosti byly stanoveny na základě předběžné požární zkoušky a jsou tedy spíše orientační. Z výsledků předběžné požární zkoušky je ale možno vycházet při přípravě a realizaci standardních velkoformátových požárních zkoušek.

Výzkum zaměřený na využití drcené slámy ve stavebnictví se nezastavil a v současné době probíhají další výzkumné aktivity. Cílem pokračujícího výzkumu je stanovit závislost hodnoty součinitele tepelné vodivosti drcené slámy na vlhkosti. Dále by měl pokračovat i výzkum požárních charakteristik drcené slámy. Cílem by mohlo být provedení standardní

velkoformátové požární zkoušky segmentu obvodové konstrukce vyplněné drcenou slámou. Z hlediska praktického využití drcené slámy ve stavebnictví by bylo vhodné testovat a případně upravit současné aplikační stroje pro foukané izolace tak, aby byly schopny zafoukat drcenou slámu do stavebních konstrukcí i na větší objemové hmotnosti. Tato aktivita je pro využití drcené slámy jako foukané izolace velmi důležitá. Výzkum se může také zaměřit na zvýšení odolnosti drcené slámy proti působení biologických vlivů a o dlouhodobý monitoring chování slámy aplikované v konstrukcích. Velmi důležitá pro další výzkum bude i propagace výsledků výzkumu v odborném tisku. Jen touto cestou je možno rozšířit mezi odbornou i laickou veřejnost o tomto přírodním materiálu. V roce 2016 by měly být výsledky výzkumu prezentovány v internetovém periodiku TZB-INFO nebo v časopisech, které se zabývají problematikou dřevostaveb a přírodních stavebních materiálů. Propagace výsledků by sebou měla přinést větší zájem veřejnosti o využití drcené slámy a měla by umožnit komercializaci a aplikaci výsledků výzkumu do praxe.



## 9. Literatura

- [1] CHYBÍK, J., Přírodní stavební materiály. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2009, 268 s. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [2] ČSN 1168, Podmínky pro zednické a přidružené práce pozemních staveb. ČSN 1168-1939. Část 1, Provádění prací zednických a přidružených.
- [3] Český statistický úřad, [www.czso.cz](http://www.czso.cz)
- [4] Baobaby, z.s., [www.baobaby.org](http://www.baobaby.org)
- [5] California Straw Bale Code. Available online at: [http://www.dcat.net/resources/California\\_Straw\\_Bale\\_Code.pdf](http://www.dcat.net/resources/California_Straw_Bale_Code.pdf) , 1995, p. 9. KONEČNÝ, P., TESLÍK, J., HAMALA, M. Mechanical and physical properties of straw bales. In *Advanced Materials Research*. Zürich : Trans Tech Publication Ltd, 2013, s. 250-253. ISBN 978-80-214-4505-5.
- [6] ECOCOCON, [www.ecococon.lt](http://www.ecococon.lt)
- [7] EKOPANELY SERVIS s.r.o., [www.ekopanely.cz](http://www.ekopanely.cz)
- [8] Himel cz S.r.o., [www.himel.cz](http://www.himel.cz)
- [9] ČSN EN 15101-1, Tepelněizolační výrobky pro budovy - Výrobky z volně sypané celulózy (LFCI) vyráběné in situ - Část 1: Specifikace pro výrobky před zabudováním.
- [10] MINKE, G., MAHLKE, F. Stavby ze slámy, Hel, 2009, ISBN: 978-80-86167-31-2.
- [11] Z-23.11-1595 Wärmedämmstoff aus Strohballen. Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt). 1. 2. 2014.
- [12] ČSN EN ISO 10140-5, Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – Část 5: Požadavky na zkušební zařízení a přístrojové vybavení. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [13] RŮŽIČKA, J., Požární odolnost obvodových stěn pro pasivní domy s využitím slaměných balíků jako tepelné izolace. Tzb-info.cz. 27. 8. 2012.
- [14] EZZELDEEN, S. IBRAHIM, IA. Production of insulating refractory bricks using rice straw. SILICATES INDUSTRIELS. Volume: 71. Issue: 1-2. Pages: 21-25. Accession Number: WOS:000237502500004. ISSN: 0037-5225
- [15] Stavební prevence: Základní požadavky požární bezpečnosti stavby, požárně bezpečnostní řešení stavby. In: HZS Ústeckého kraje [online]. 2014 [cit. 2014-08-06]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/menu-pozarni-prevence-stavebni-prevence-stavebni-prevence.aspx?q=Y2hudW09Mw%3D%3D>
- [16] ČSN EN 13501-1+ A1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň. Český normalizační institut. 03/2010.
- [17] KONEČNÝ, P., TESLÍK, J., HAMALA, M. Mechanical and physical properties of straw bales. In *Advanced Materials Research*. Zürich : Trans Tech Publication Ltd, 2013, s. 250-253. ISBN 978-80-214-4505-5.
- [18] ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. Český normalizační institut. 05/2009.
- [19] ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb. Výrobní objekty. Český normalizační institut. 03/2010.
- [20] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb. Požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí. Český normalizační institut. 05/2009.

- [21] ČSN 73 0821 ed.2 Požární bezpečnost staveb. Požární odolnost stavebních konstrukcí. Český normalizační institut. 05/2007.
- [22] ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. Český normalizační institut 08/2004.
- [23] ČSN EN 1995 -1-2 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla Navrhování konstrukcí na účinky požáru, Český normalizační institut 2006
- [24] <http://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergetickych-staveb/8974-pozarni-odolnost-obvodovych-sten-pro-pasivni-domy-s-vyuzitim-slamenych-baliku-jako-tepelne-izolace>
- [25] AGEL, P., LABUDEK, J. Víceúčelový dřevěný nosný prvek pro stavby zateplené foukanou izolací. Užitný vzor č.22209. 05/2011.
- [26] ČSN EN ISO 3382-2 (730534) Akustika - Měření parametrů prostorové akustiky - Část 2: Doba dozvuku v běžných prostorech. Český normalizační institut 03/2009.
- [27] ČSN EN ISO 717-1 (730531) Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost. Český normalizační institut 12/2013.
- [28] WARGOCKI, P., J. SUNDELL, W. BISCHOF, G. BRUNDRETT, P. O. FANGER, F. GYNTELBERG, S. O. HANSEN, P. HARRISON, A. PICKERING, O. SEPPANEN a P. WOUTERS. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). Indoor Air. 2002, roc. 12, c. 2, s. 113-128. ISSN 0905-6947. DOI: 10.1034/j.1600-0668.2002.01145.x.
- [29] ČSN EN 73 1364-1. Zkoušení požární odolnosti nenosných prvků. Část 1: Stěny. 11/2015.
- [30] TESLÍK, J., LABUDEK, J., WALDSTEIN, P. Konstrukční perforovaný oplášťující prvek s nízkým difuzním odporem. Užitný vzor č. 27796. 02/2015.
- [31] BRADÁČOVÁ, I. Požární bezpečnost staveb: nevýrobní objekty. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, 236 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-023-4.
- [32] ČSN EN 13823+A1 Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň - Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu. Český normalizační institut 07/2015.
- [33] ČSN EN ISO 1182 Zkoušení reakce výrobků na oheň - Zkouška nehořlavosti. Český normalizační institut 11/2010.
- [34] ČSN EN ISO 1716 Zkoušení reakce výrobků na oheň - Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty). Český normalizační institut 01/2011.
- [35] MIERLO, R., SETTE, B. The Single Burning Item (SBI) test method – a decade of development and plans for the near future. HERON. Volume: 50. Issue: 4. 2005.
- [36] <http://606060.com.au/home/>
- [37] <http://stavba.tzb-nfo.cz>
- [38] ČSN 72 7014 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Vyhodnocení zkoušek. Český normalizační institut 05/1994.
- [39] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Český normalizační institut 12/2005.

- [40] ČSN EN ISO 8990 Tepelná izolace - Stanovení vlastností prostupu tepla v ustáleném stavu – Kalibrovaná a chráněná teplá skříň. Český normalizační institut 08/1998.
- [41] <http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/3102-jak-tepelna-pohoda-rozhoduje-o-kvalite-bydleni>
- [42] <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/13626-chladiva-uvod-definice-historie>
- [43] <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6791-drevene-konstrukce-a-prirodni-izolacni-materialy>
- [44] Granofyt, s.r.o., [www.granofyt.cz](http://www.granofyt.cz)
- [45] zdroj: [lasercomp.com](http://lasercomp.com)

## Příloha A - Zkušební protokol zkoušky zápalnosti drcené slámy



INSTITUT PRO TESTOVÁNÍ A CERTIFIKACI, a. s.

třída Tomáše Bati 299, 764 21 Zlín-Louky

Zkušební laboratoř

Zkušební laboratoř \* Kalibrační laboratoř \* Certifikační orgán pro výrobky \* Certifikační orgán systémů jakosti

Inspekční orgán \* Autorizovaná osoba \* Notifikovaná osoba

tel.: +420 577 601 242 fax: +420 577 601 278 e-mail: sbetakova@itczlin.cz www: itczlin.cz

Počet stran : 3

Strana : 1 č. j. 412207718

### ZKUŠEBNÍ PROTOKOL č. j. 412207718

**Objednavatel:** Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava  
IČ: 61989100

**Adresa:** 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava - Poruba

**Vzorek:** Přírodní izolace z drcené slámy - ozn. viz str. 2

**Datum přijetí vzorku:** 9. 10. 2014

**Vypracoval:** Ing. Šárka Běťáková

**Místo a datum vydání:** Zlín, 24. 10. 2014



Ing. Jiří Samsoněk, Ph.D.  
vedoucí zkušební laboratoře

**Upozornění:** Výsledky uvedené v tomto zkušebním protokolu se týkají jen vzorků námi zkoušených.  
Bez písemného souhlasu Institutu pro testování a certifikaci, a.s. se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý!

## 1 Údaje o předmětu zkoušky (vzorku)

### 1.1 Výrobek

Drcená sláma objemové hmotnosti  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $100 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $110 \text{ kg.m}^{-3}$ .

### 1.2 Termín provedení zkoušek

Zkoušky byly provedeny ve dnech od 2015-03-04 do 2015-03-05.

## 2 Převzetí vzorků

Datum odběru vzorků ve výrobě: neuvedeno

Místo odběru: neuvedeno

Odebral: Ing. Jiří Teslík, VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební

Postup odběru: neuvedeno

Datum převzetí v AZL 1018.7: 2015-01-26

Převzal: zástupce AZL č. 1018.7 Ing. Tomáš Klepáč

Evidenční číslo vzorku v AZL 1018.7: zkušební vzorky byly zaevidovány v elektronické knize vzorků pod číslem VZ070150131 a označeny pořadovými čísly 1, 2 a 3.

Označení vzorku zadavatelem	Drcená sláma objemové hmotnosti $90 \text{ kg.m}^{-3}$ , $100 \text{ kg.m}^{-3}$ a $110 \text{ kg.m}^{-3}$
Označení vzorku zpracovatelem	Sláma 90, vzorek č. 1 Sláma 100, vzorek č. 2 Sláma 110, vzorek č. 3
Počet vzorků dle druhu	3 ks vzorků: $0,0214 \text{ m}^3$

## 3 Údaje o výrobku

Drcená sláma objemové hmotnosti  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $100 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $110 \text{ kg.m}^{-3}$  je určena k technické alternativní tepelné izolaci objektů a budov.

## 4 Zkušební metody, předpisy a postupy

### 4.1 Pro zkoušení byly použity zkušební postupy

Pořadové číslo	Přesný název zkoušky	Identifikace metody
3/38	Stanovení tep. odporu - vodivosti materiálů a výrobků v ustáleném tepelném stavu	IP 07003T038 (ČSN 727012-2, ČSN 727012-3, ČSN 727014, ČSN 727302, ČSN 727306, ČSN EN 12664, ČSN EN 12667, ČSN EN 12939, ČSN EN 13162 čl. 5.3.2, ČSN EN 13163 čl. 5.3.2, ČSN EN 13164 čl. 5.3.2, ČSN EN 13165 čl. 5.3.2, ČSN EN 13166 čl. 5.3.2, ČSN EN 13167 čl. 5.3.2, ČSN EN 13168 čl. 5.3.2, ČSN EN 13169 čl. 5.3.2, ČSN EN 13170 čl. 5.3.2, ČSN EN 13171 čl. 5.3.2, ČSN EN 1946-2)



Tepelná vodivost Drcené slámy objemové hmotnosti $100 \text{ kg.m}^{-3}$ , vzorek č. 2		
Označení vzorku zadavatelem		Drcená sláma objemové hmotnosti $100 \text{ kg.m}^{-3}$
Označení vzorku zpracovatelem		Sláma 100, vzorek č. 2
Změřená hodnota součinitele tepelné vodivosti vzorku $\lambda_v$	$[\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	<b>0,04509</b>

Tepelná vodivost Drcené slámy objemové hmotnosti $110 \text{ kg.m}^{-3}$ , vzorek č. 3		
Označení vzorku zadavatelem		Drcená sláma objemové hmotnosti $110 \text{ kg.m}^{-3}$
Označení vzorku zpracovatelem		Sláma 110, vzorek č. 3
Změřená hodnota součinitele tepelné vodivosti vzorku $\lambda_v$	$[\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	<b>0,04552</b>

KONEC PROTOKOLU



## Příloha B - Zkušební protokol o zkoušce SBI drcené slámy



**CENTRUM STAVEBNÍHO INŽENÝRSTVÍ a.s.**

Zkušebna fyzikálních vlastností materiálů, konstrukcí a budov - Praha  
Zkušební laboratoř č. 1007.4 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025  
Pražská 16, 102 00 Praha 10 Hostivař

### PROTOKOL O ZKOUŠCE č. 15/1178/P707



Číslo zakázky: Z-15/474/P224

Počet stran: 3 + 2 přílohy

Počet výtisků: 2

Číslo výtisků: 1

**Název zkoušky:** Reakce na oheň stavebních výrobků - SBI test

**Materiál/výrobek/konstrukce:** Drcená sláma\*

**Objednatel:** Vysoká škola báňská  
Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
17. listopadu 15  
708 33 Ostrava - Poruba

**Výrobce:** Viz objednatel

**Datum převzetí vzorků:** 04.08.2015  
**Název pracoviště:** Požárně technická laboratoř  
**Místo měření:** Pražská 16, Praha 10 – Hostivař  
**Datum zkoušky:** 19. - 22.02.2016  
**Datum vydání protokolu:** 25.02.2016

Vít Slaboch  
technický vedoucí  
požárně technické laboratoře



Ing. Petr Školník  
vedoucí zkušebny

email.: slaboch@csias.cz  
tel.: 281 017 451  
fax: 271 751 122

email: azi@csias.cz  
tel.: 281 017 417  
web: www.csias.cz



## 1. Zadání zkoušky

Zkouška byla provedena na základě objednávky č. 10034115/225 ze dne 04.08.2015.

## 2. Zkušební postupy

ČSN EN 13823: 2010 Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň - Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu.

## 3. Zkušební vzorky

Vzorky dodal objednatel.

Označení zkušebních těles v laboratoři: 15/P707/1-3

Složení: Drcená sláma

Popis zkušebního tělesa: Drcená sláma volně nasypaná ve zkušební kleci dle ČSN EN 15101-1. Hustota směsi 90 kg/m<sup>3</sup>. Tloušťka zkušebního tělesa 200 mm. Zkušební klec je krytá drátěnou sítí o průměru drátu 0,5 mm, velikost oka 5 x 5 mm. Na zadní straně klace podkladová deska na bázi dřeva tloušťky 12 mm.

## 4. Zkušební měřidla a zařízení

- 1) Zkušební zařízení podle ČSN EN 13823 (Ev. č. 703)
- 2) Měřítka délkové kovové (Ev. č. 2)
- 3) Stopky digitální (Ev. č. 22)
- 4) Hmotnostní průtokoměr propanu (Ev. č. 151)
- 5) Teploměr/vlhkoměr nástěnný (Ev. č. 5)
- 6) Anemometr digitální (Ev. č. 67)
- 7) Barometr digitální (Ev. č. 12)
- 8) Převodník AD (Ev. č. 45)
- 9) Mikromanometr (Ev. č. 163)
- 10) Váha digitální (Ev. č. 50)
- 11) Termočlánek 0,5 mm plášťovaný (Ev. č. 159)
- 12) Termočlánek 0,5 mm plášťovaný (Ev. č. 160)
- 13) Termočlánek 0,5 mm plášťovaný (Ev. č. 161)
- 14) Termočlánek 1,5 mm plášťovaný (Ev. č. 21)

## 5. Výsledky zkoušek a závěr

Klimatizace podle ČSN EN 13238, č. 4.2: T = (23 ± 2) °C; RV = (50 ± 5) % od 04.08.2015

Zkušební těleso číslo	1	2	3	průměr	Rozšířená nejistota
Datum zkoušky	19.2.	22.2.	22.2.		
LFS > hrana	ne	ne	ne	ne	(-)
FIGRA <sub>0,2 MJ</sub> [W/s]	123,0	134,9	129,8	129,2	9,3
FIGRA <sub>0,4 MJ</sub> [W/s]	114,7	121,9	119,8	118,8	7,5
THR <sub>800 °C</sub> [MJ]	5,2	5,6	5,4	5,4	0,2
SMOGR <sub>A</sub> [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	2,7	2,0	3,0	1,9	6,1
TSP <sub>800 °C</sub> [m <sup>2</sup> ]	46,6	44,9	48,1	46,5	1,9
odpadávající částice	ne	ne	ne	ne	(-)
doba hoření částic [s]	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

## 6. Nejistoty měření

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k = 2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem „EA 4/02“.

## 7. Prohlášení

Výsledky zkoušky se vztahují k chování zkušebních vzorků výrobku při konkrétních zkušebních podmínkách a nejsou jediným kritériem pro hodnocení možného požárního rizika výrobku při jeho použití. Údaje o provedených zkouškách se týkají pouze zkoušených předmětů. Protokol smí být publikován pouze jako celek.

Měření provedl: Vít Slaboch



Protokol vypracoval: Vít Slaboch

Rozdělení protokolů:

Výtisk č. 1 – objednatel





Výtisk č. 2 – archiv zkušebny

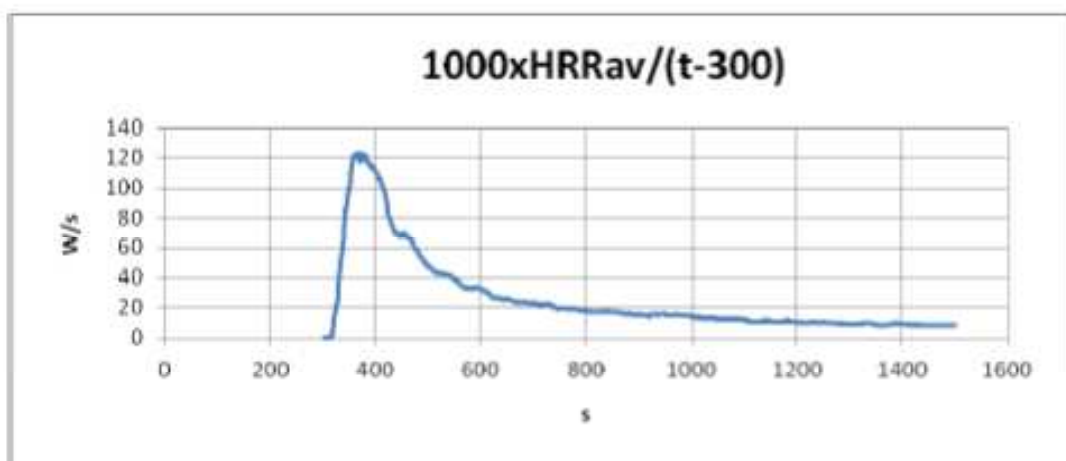
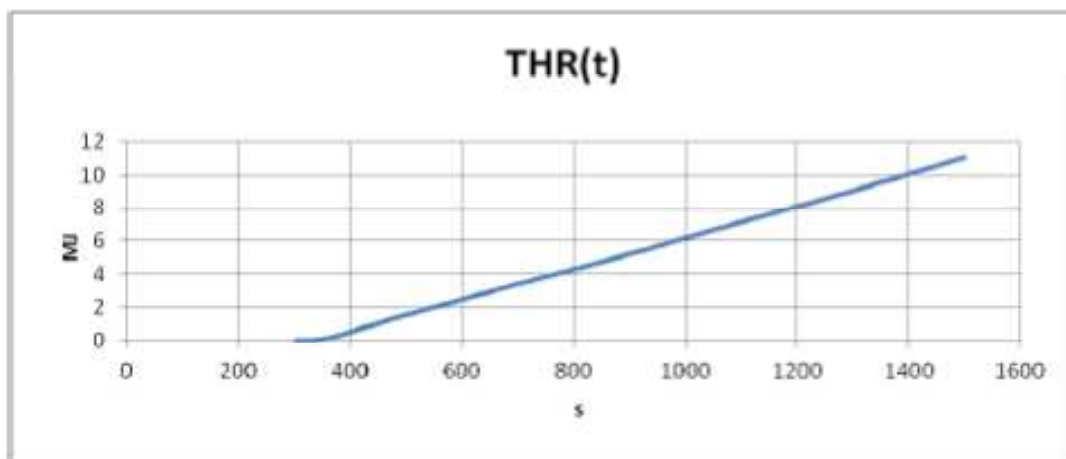
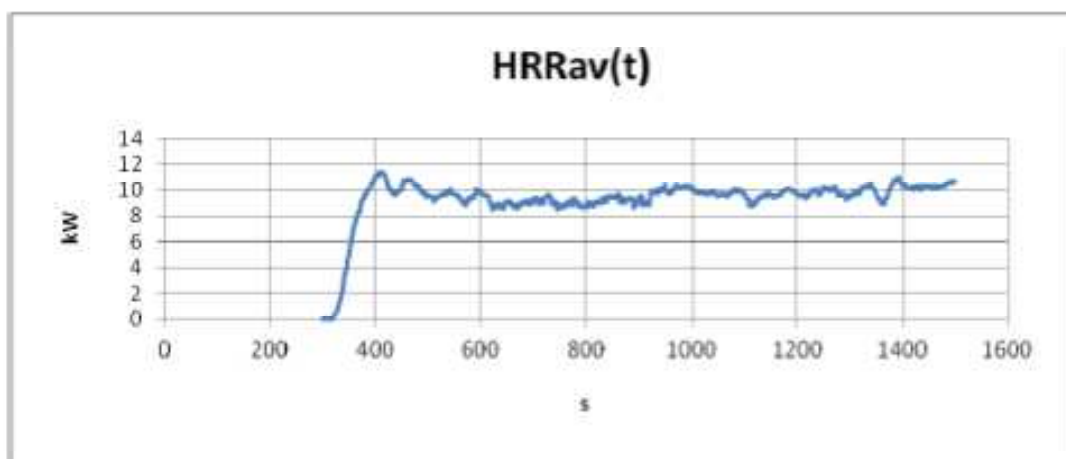
Seznam příloh:

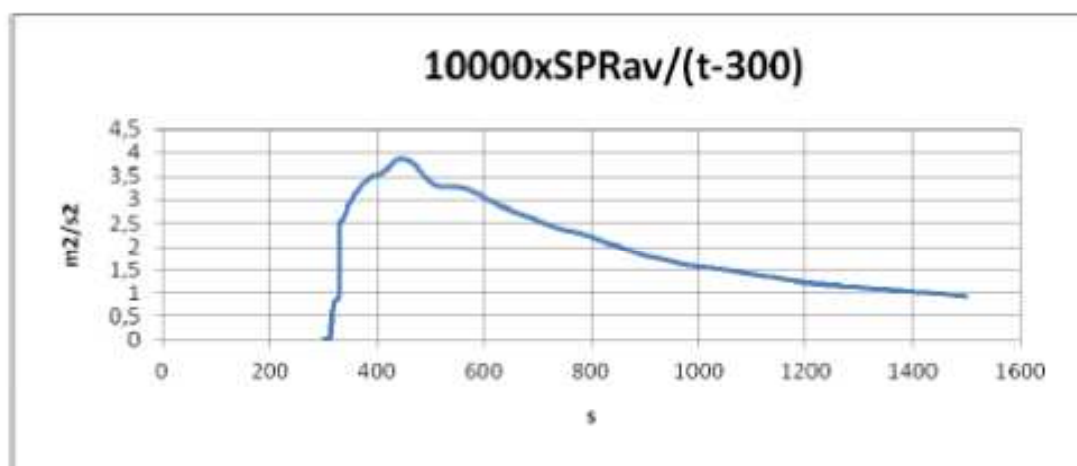
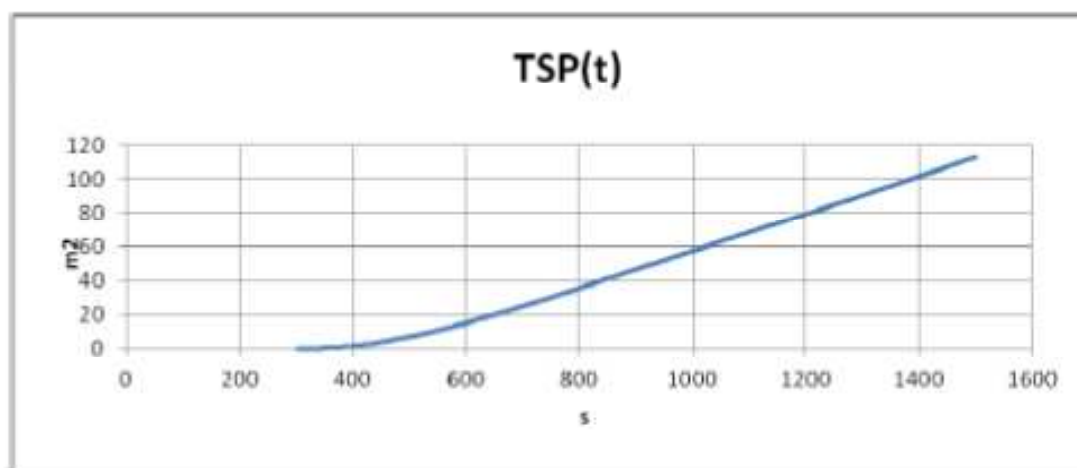
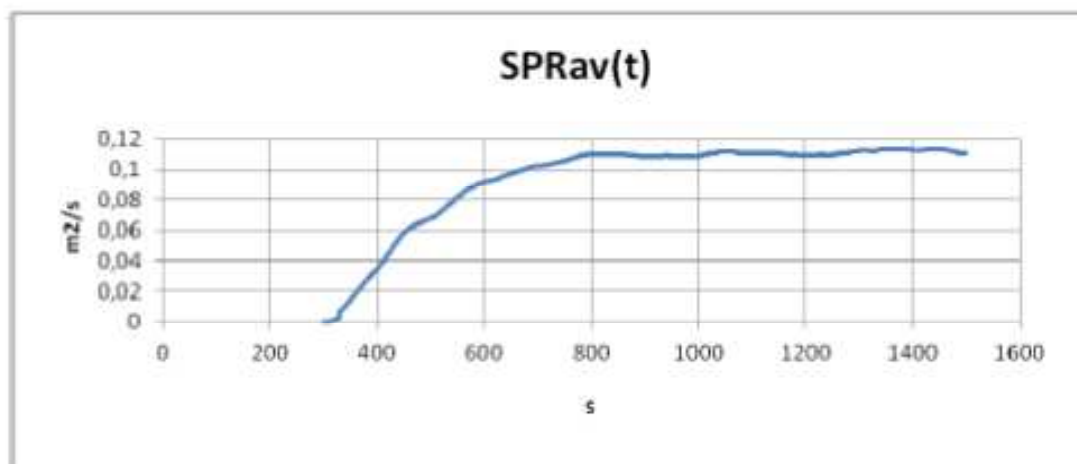
Příloha č. 1: fotografie uspořádání zkušebního tělesa

Příloha č. 2: grafy průběhů měřených a vypočtených veličin

KONEC PROTOKOLU

<p>Fotografie uspořádání zkušebního tělesa – dlouhé křídlo</p>	<p>Fotografie uspořádání zkušebního tělesa – krátké křídlo</p>
	
<p>Fotografie uspořádání zkušebního tělesa – linie rohu</p>	<p>Fotografie uspořádání zkušebního tělesa – linie rohu po zkoušce</p>
	







## Příloha C

### C.1 Zkušební protokol z předběžné velkoformátové požární zkoušky



**PAVUS, a.s.**

[www.pavus.cz](http://www.pavus.cz)

Oznámený subjekt 1391, Autorizovaná osoba AO 216, člen EGOLF, Požární zkušebna, Certifikační orgán pro certifikaci výrobků a systémů jakosti, expertízy, inspekce

Sídlo : Prosecká 412/74, 190 00 Praha 9, Česká republika  
tel.: +420 286 019 587; fax: +420 286 019 590; e-mail: [mail@pavus.cz](mailto:mail@pavus.cz)

Pobočka : Čtvrť J. Hybeše 879, 391 81 Veselí nad Lužnicí, Česká republika  
tel.: +420 381 477 418; fax: +420 381 477 419; e-mail: [veseli@pavus.cz](mailto:veseli@pavus.cz)

Vaše značka / dopis :

Vyřizuje / kontakt : František Čečka / 381 477 408

Naše značka / dopis : 318/če/14 ze dne 2014-07-03

**Vysoká škola báňská –  
Technická univerzita Ostrava**

paní Ing. Barbora Hrubá  
17. listopadu 2172/15  
708 33 Ostrava - Poruba  
Česká republika

**Věc:**

**Výsledky požární zkoušky 9 ks výsečí stěn 730 x 500 mm.**

- Příloha 1:** Popis a výsledky zkoušky vzorků  
**Příloha 2:** Dokumentace a fotodokumentace  
**Příloha 3:** Soubor dat naměřených teplot

**Příloha 1 - dopisu č. 318/če/14: popis a výsledky zkoušky vzorků**

Na základě objednávky Vysoké školy báňské – Technická univerzita Ostrava ze dne 10. června 2014 a smlouvy č. Z210140172 byla dne 30. června 2014 v Požární zkušebně PAVUS, a.s. ve Veselí nad Lužnicí provedena předběžná – informativní požární zkouška 9 ks výsečí stěn při požáru s normovou teplotní křivkou po dobu 91 minut. Výseče zazděny do podpěrné konstrukce z Ytong bloků o celkovém rozměru 3000 x 3000 mm. Všechny výseče o rozměrech 730 x 500 mm různých skladeb a tloušťek zkoušeny z interiérové strany, vzorky bez povrchové úpravy.

**Popis odzkoušených 9 ks výsečí stěn:**

**- vzorek č. 1:**

rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 340 mm;  
skladba vzorku z interiérové strany: deska Fermacell FC 15 tl. 15 mm;  
výplň Climatizér Plus o obj. hm. cca 60 kg/m<sup>3</sup>;  
deska Velox WS tl. 25 mm;  
skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm;  
dutina vzorku rozdělena perinkou na dvě stejné části;  
desky k smrkovým hranolům z interiérové i exteriérové strany  
přípevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm;  
po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;  
teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{max} = 37,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)

**- vzorek č. 2:**

rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 355 mm;  
skladba vzorku z interiérové strany: deska OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;  
výplň Climatizér Plus o obj. hm. cca 60 kg/m<sup>3</sup>;  
desky SteicoTherm tl. 2x 20 mm;

IČ: 60193174  
DIČ: CZ60193174

Komerční banka a.s. Praha 6; číslo účtu: 5402201 / 0100  
IBAN: CZ590100000000005402201 SWIFT: KOMBCZPPXXX

Společnost je zapsána v obchodním rejstříku, vedeném  
Městským soudem v Praze – oddíl B, vložka 2309

- skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm; dutina vzorku rozdělena perlínkou na dvě stejné části; desky k smrkovým hranolům z interiérové strany připevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm a z exteriérové strany desky jednou řadou vrutů s talířovitou hlavou s roztečí max. 100 mm; po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;
- teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{max} = 27,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)
- **vzorek č. 3:**
- rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 330 mm;
- skladba vzorku z interiérové strany: deska OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm; výplň Climatizér Plus o obj. hm. cca 60 kg/m<sup>3</sup>; deska OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm s 24 ks otvorů o  $\varnothing$  10 mm s roztečí 100 mm;
- skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm; dutina vzorku rozdělena perlínkou na dvě stejné části; desky k smrkovým hranolům z interiérové i exteriérové strany připevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm; po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;
- teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{max} = 28,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)
- **vzorek č. 4a:**
- rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 280 mm;
- skladba vzorku z interiérové strany: deska Fermacell FC 15 tl. 15 mm; výplň Climatizér Plus o obj. hm. cca 60 kg/m<sup>3</sup>; deska Velox WS tl. 25 mm;
- skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm; dutina vzorku rozdělena perlínkou na dvě stejné části; desky k smrkovým hranolům z interiérové i exteriérové strany připevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm; po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;
- teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{max} = 64,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)
- **vzorek č. 4b:**
- rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 280 mm;
- skladba vzorku z interiérové strany: deska Fermacell FC 15 tl. 15 mm; výplň drcená sláma MikoStroh; deska Velox WS tl. 25 mm;
- skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm; dutina vzorku rozdělena perlínkou na dvě stejné části; desky k smrkovým hranolům z interiérové i exteriérové strany připevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm; po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;
- teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{max} = 87,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)
- **vzorek č. 5a:**
- rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 295 mm;
- skladba vzorku z interiérové strany: deska OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm; výplň Climatizér Plus o obj. hm. cca 60 kg/m<sup>3</sup>; desky SteicoTherm tl. 2x 20 mm;

skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm;  
dutina vzorku rozdělena perlínkou na dvě stejné části;  
desky k smrkovým hranolům z interiérové strany připevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm a z exteriérové strany desky jednou řadou vrutů s talířovitou hlavou s roztečí max. 100 mm;  
po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;

teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{\max} = 60,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)

**- vzorek č. 5b:**

rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 295 mm;

skladba vzorku z interiérové strany: deska OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;  
výplň drcená sláma MikoStroh;  
desky SteicoTherm tl. 2x 20 mm;

skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm;  
dutina vzorku rozdělena perlínkou na dvě stejné části;  
desky k smrkovým hranolům z interiérové strany připevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm a z exteriérové strany desky jednou řadou vrutů s talířovitou hlavou s roztečí max. 100 mm;  
po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;

teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{\max} = 78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)

**- vzorek č. 6:**

rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 270 mm;

skladba vzorku z interiérové strany: deska OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;  
výplň Climatizér Plus o obj. hm. cca 60 kg/m<sup>3</sup>;  
deska OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm s 24 ks otvorů o  $\varnothing$  10 mm s roztečí 100 mm;

skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm;  
dutina vzorku rozdělena perlínkou na dvě stejné části;  
desky k smrkovým hranolům z interiérové i exteriérové strany připevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm;  
po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;

teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{\max} = 52,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)

**- vzorek č. 7:**

rozměry vzorku: 730 x 500 mm a tl. 295 mm;

skladba vzorku z interiérové strany: deska Fermacell FC 15 tl. 15 mm;  
výplň drcená sláma MikoStroh;  
desky SteicoTherm tl. 2x 20 mm;

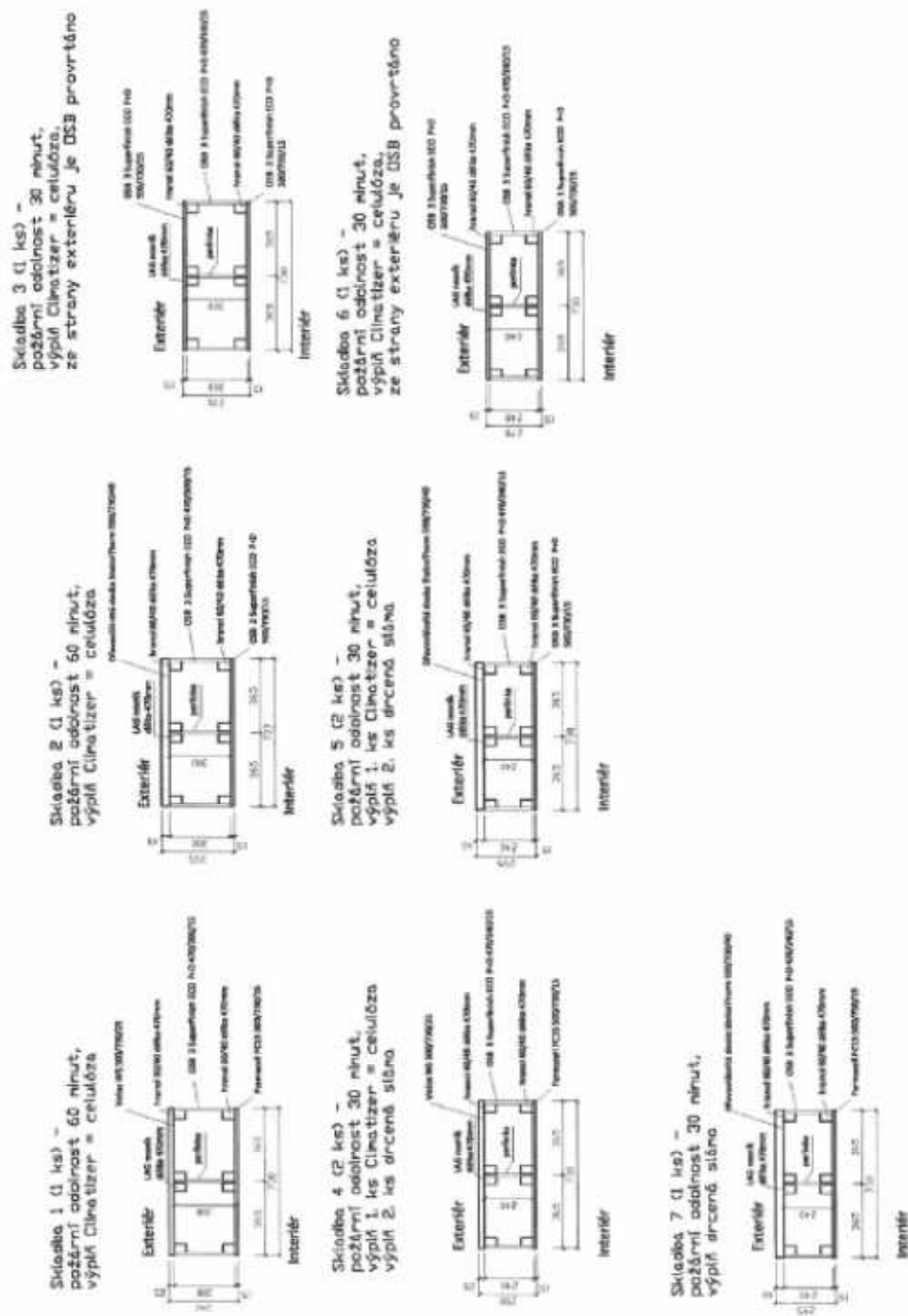
skladba konstrukce vzorku: 8 ks svislých smrkových hranolů 60 x 40 mm dl. 470 mm;  
dutina vzorku rozdělena perlínkou na dvě stejné části;  
desky k smrkovým hranolům z interiérové strany připevněny jednou řadou hřebů s roztečí max. 50 mm a z exteriérové strany desky jednou řadou vrutů s talířovitou hlavou s roztečí max. 100 mm;  
po obvodu přibity desky OSB 3 Superfinish ECO P+D tl. 15 mm;

teplota max. na povrchu vzorku:  $T_{\max} = 78,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (hodnoty teplot v průběhu zkoušky viz Příloha 3)



**Příloha 2 - dopisu č. 318/če/14: dokumentace a fotodokumentace**

*Dokumentace od objednatele:*



## PAVUS, s.s.

Oznámený subjekt 1281, Autorizovaná osoba AO 216, člen EGOLF, Požární zkušebna, Certifikační orgán pro certifikaci výrobků a systémů jakosti, expertízy, inspekce

### Fotodokumentace:



Vzorky před naplněním výplní



Plnění vzorků výplní



NS - 91. minuta zkoušky 9 ks výsečí stěn - (trvalý plamen na vz. č. 5b)

**Příloha 3 - dopisu č. 318/če/14: soubor dat naměřených teplot**

TEPLOTY (°C) - na povrchu 9 ka výšecí

Čas t (min)	TC - vzorek č. 1					TC - vzorek č. 2					TC - vzorek č. 3					TC - vzorek č. 4a					TC - vzorek č. 4b				
	30	31	32	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	33	34	35	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	36	37	38	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	39	40	41	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	42	43	44	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>
0	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
30	21	22	21	21	22	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	20	21	20
40	22	24	23	23	24	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	24	25	24	24	25	24	25	24	25	24
50	25	27	26	26	28	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	31	30	31	31	31	31	31	28	28	28
60	29	30	32	30	32	20	20	20	20	20	20	20	21	20	21	40	37	39	38	40	42	41	39	39	42
70	31	32	34	32	34	20	20	21	20	21	21	21	22	21	22	50	44	48	47	50	52	51	47	47	52
80	34	34	36	34	36	22	21	23	22	23	23	23	24	23	24	59	52	57	56	59	59	57	57	57	59
90	36	37	38	37	38	25	22	27	24	27	27	27	28	26	28	64	57	64	62	64	64	63	63	63	64
91	38	38	38	37	38	26	22	29	25	28	27	27	28	26	28	64	58	65	62	65	65	63	63	63	65

Teploty snímány a zaznamenávány každou minutu; v tabulce zobrazeny v intervalu max. 10 minut  
 [XX] Označení měřiče spoje TC

TC - vzorek č. 5a					TC - vzorek č. 5b					TC - vzorek č. 6					TC - vzorek č. 7				
48	49	50	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	51	52	53	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	45	46	47	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	54	55	56	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	24	25	25	24	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	28	28	28	28	21	21	20	21	21	24	32	34	33	34
21	23	20	21	23	21	23	24	23	24	21	22	21	21	22	23	32	34	33	34
26	34	23	32	30	23	25	26	24	26	21	25	24	24	26	25	25	25	25	25
34	40	30	40	34	22	25	26	24	26	21	32	31	28	32	24	26	26	26	26
50	54	40	53	50	21	23	24	23	25	22	38	38	33	38	24	26	27	25	27
60	58	50	56	60	21	25	24	23	25	21	44	46	37	46	23	27	27	26	27
60	60	51	57	60	22	25	25	24	25	22	48	51	40	51	24	28	27	25	27
61	60	52	57	61	23	25	25	24	25	22	49	52	41	52	24	28	27	25	27

Teploty snímány a zaznamenávány každou minutu; v tabulce zobrazeny v intervalu max. 10 minut  
 [XX] Označení měřiče spoje TC

Předběžná – informativní zkouška vzorků výšecí stěn byla provedena podle normy ČSN EN 1364-1.

Průběh zkoušky: v 89. minutě zkoušky trvalý plamen z horní spáry mezi vzorkem č. 5b a podpěrnou konstrukcí, ostatní vzorky bez porušení po dobu zkoušky 91. minut.

Výsledky zkoušky výšecí zpracovány formou dopisu a předáním naměřených hodnot teplot na povrchu vzorků v Excel souboru viz Příloha 3.

Ing. Jiří KÁPL

ředitel pobočky PAVUS, a.s.

PAVUS, a.s.  
 Autorizovaná osoba AG 216  
 Požární zkušebna  
 391 51 Veselí nad Lužnicí

## C.2 Povrchové teploty jednotlivých zkušebních vzorků v průběhu předběžné velkoformátové požární zkoušky

TEPLOTY (°C) - na povrchu 9 ks výsečí

Čas t (min)	TC - vzorek č. 1					TC - vzorek č. 2					TC - vzorek č. 3				
	30	31	32	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	33	34	35	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	36	37	38	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>
PHMV	19	19	19	19	19	18	18	19	18	19	19	19	19	19	19
0	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
3	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
6	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
7	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
8	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
9	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
11	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
12	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
13	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
14	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
16	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
18	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
22	20	21	20	20	21	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
23	20	21	20	20	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
24	20	21	20	20	21	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
25	20	21	20	21	21	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
26	20	21	20	21	21	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
27	20	21	21	21	21	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
28	21	22	21	21	22	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
29	21	22	21	21	22	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
30	21	22	21	21	22	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
31	21	22	21	21	22	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
32	21	22	21	21	22	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
33	21	23	21	22	23	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
34	21	23	22	22	23	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
35	21	23	22	22	23	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
36	22	23	22	22	23	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
37	22	23	22	22	23	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
38	22	24	23	23	24	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
39	22	24	23	23	24	19	19	20	19	20	20	20	20	20	20
40	22	24	23	23	24	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
41	22	25	24	24	25	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20

42	23	25	24	24	25	19	19	20	19	20	20	20	20	20
43	23	25	25	24	25	19	20	20	20	20	20	20	20	20
44	23	26	25	25	26	19	20	20	20	20	20	20	20	20
45	24	26	25	25	26	19	20	20	20	20	20	20	20	20
46	24	26	26	25	26	20	20	20	20	20	20	20	20	20
47	24	26	26	26	26	20	20	20	20	20	20	20	20	20
48	25	27	27	26	27	20	20	20	20	20	20	20	20	20
49	25	27	27	26	27	20	20	20	20	20	20	20	20	20
50	25	27	28	27	28	20	20	20	20	20	20	20	20	20
51	26	28	28	27	28	20	20	20	20	20	20	20	20	20
52	26	28	29	28	29	20	20	20	20	20	20	20	20	20
53	26	28	29	28	29	20	20	20	20	20	20	20	20	20
54	27	28	30	28	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20
55	27	29	30	29	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20
56	27	29	30	29	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20
57	28	29	31	29	31	20	20	20	20	20	20	20	20	20
60	29	30	32	30	32	20	20	20	20	20	20	21	20	21
61	29	30	32	30	32	20	20	20	20	20	20	21	20	21
62	29	30	32	31	32	20	20	20	20	20	20	21	20	21
63	29	30	33	31	33	20	20	20	20	20	21	20	21	21
64	30	31	33	31	33	20	20	20	20	20	21	20	21	21
65	30	31	33	31	33	20	20	20	20	20	21	20	21	21
66	30	31	34	32	34	20	20	21	20	21	21	21	21	21
67	31	31	34	32	34	20	20	21	20	21	21	21	21	21
68	31	31	34	32	34	20	20	21	20	21	21	21	22	21
69	31	32	34	32	34	20	20	21	20	21	21	21	22	21
70	31	32	34	32	34	20	20	21	20	21	21	21	22	21
71	32	32	34	33	34	20	20	21	20	21	21	21	22	21
72	32	32	34	33	34	21	20	21	21	21	22	21	22	21
73	32	32	35	33	35	21	20	21	21	21	22	21	22	22
74	32	33	35	33	35	21	20	21	21	21	22	21	23	22
75	32	33	35	33	35	21	20	21	21	21	22	21	23	22
76	33	33	35	34	35	21	20	22	21	22	22	21	23	22
77	33	33	35	34	35	21	20	22	21	22	23	21	23	22
78	33	33	35	34	35	21	20	22	21	22	23	21	24	22
79	33	34	36	34	36	21	21	22	21	22	23	21	24	23
80	34	34	36	34	36	22	21	23	22	23	23	21	24	23
81	34	34	36	35	36	22	21	23	22	23	24	21	25	23
82	34	35	36	35	36	22	21	23	22	23	24	21	25	23
83	34	35	36	35	36	22	21	24	22	24	24	21	25	24
84	35	35	36	35	36	23	21	24	23	24	25	21	26	24
85	35	36	37	36	37	23	21	24	23	24	25	22	26	24
86	35	36	37	36	37	23	21	25	23	25	25	22	27	24
87	35	36	37	36	37	24	21	25	23	25	26	22	27	25
88	36	37	37	36	37	24	22	26	24	26	26	22	27	25
89	36	37	37	37	37	25	22	26	24	26	26	22	28	25
90	36	37	38	37	38	25	22	27	24	27	27	22	28	26
91	36	38	38	37	38	25	22	28	25	28	27	22	28	26

TEPLOTY (°C) - na povrchu 9 ks výšečí

Čas t	TC - vzorek č. 4a					TC - vzorek č. 4b					TC - vzorek č. 5a				
(min)	39	40	41	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	42	43	44	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	48	49	50	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>
PHMV	20	20	19	19	20	19	20	20	20	20	19	19	19	19	19
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
6	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
7	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
8	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
9	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
11	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
12	20	20	20	20	20	20	21	20	20	21	20	20	20	20	20
13	20	20	20	20	20	20	21	20	20	21	20	20	20	20	20
14	20	20	20	20	20	20	21	20	20	21	20	20	20	20	20
15	20	20	20	20	20	20	21	21	21	21	20	20	20	20	20
16	20	20	20	20	20	20	22	21	21	22	20	20	20	20	20
17	20	20	20	20	20	21	23	21	21	23	20	20	20	20	20
18	20	20	20	20	20	21	25	21	22	25	20	20	20	20	20
19	20	20	20	20	20	21	28	21	23	28	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	22	30	21	25	30	20	20	20	20	20
21	20	20	20	20	20	25	33	22	27	33	20	20	20	20	20
22	20	20	20	20	20	39	39	22	33	39	20	20	20	20	20
23	20	20	20	20	20	67	42	23	44	67	20	20	20	20	20
24	20	21	20	20	21	84	45	31	53	84	20	20	20	20	20
25	20	21	20	20	21	88	50	45	61	88	20	20	20	20	20
26	21	21	20	20	21	88	52	57	66	88	20	20	20	20	20
27	21	21	20	21	21	86	54	62	67	86	20	20	20	20	20
28	21	21	21	21	21	87	55	66	69	87	20	20	20	20	20
29	21	21	21	21	21	87	57	68	70	87	20	20	20	20	20
30	21	21	21	21	21	87	61	70	73	87	20	20	20	20	20
31	21	21	21	21	21	88	65	72	75	88	20	20	20	20	20
32	22	22	21	21	22	87	67	73	76	87	20	20	20	20	20
33	22	22	21	22	22	87	68	74	76	87	20	20	20	20	20
34	22	22	22	22	22	87	71	74	77	87	20	21	20	20	21
35	22	23	22	22	23	86	72	75	78	86	21	21	20	20	21
36	23	23	22	23	23	86	73	76	78	86	21	21	20	21	21
37	23	23	22	23	23	85	74	76	79	85	21	21	20	21	21
38	23	24	23	23	24	86	75	77	79	86	21	22	20	21	22
39	24	24	23	24	24	86	75	78	79	86	21	22	20	21	22
40	24	25	24	24	25	84	75	77	79	84	21	23	20	21	23
41	25	25	24	25	25	85	76	78	80	85	22	23	20	22	23
42	25	26	25	25	26	86	77	78	80	86	22	24	20	22	24
43	26	26	25	26	26	85	77	78	80	85	23	25	20	23	25

44	27	27	26	26	27	84	77	79	80	84	25	26	21	24	26
45	27	27	27	27	27	85	77	79	80	85	26	27	21	25	27
46	28	28	28	28	28	85	77	79	80	85	28	29	21	26	29
47	29	29	28	29	29	84	77	79	80	84	31	30	21	27	31
48	30	29	29	29	30	84	77	79	80	84	33	31	22	29	33
49	31	30	30	30	31	84	77	79	80	84	36	32	23	30	36
50	31	30	31	31	31	84	77	79	80	84	38	34	23	32	38
51	32	31	32	32	32	84	77	79	80	84	41	35	24	33	41
52	33	32	32	32	33	84	77	79	80	84	43	37	25	35	43
53	34	32	33	33	34	84	77	79	80	84	45	38	26	37	45
54	35	33	34	34	35	83	77	79	80	83	47	40	28	38	47
55	36	33	35	35	36	82	77	79	79	82	49	41	29	40	49
56	37	34	36	35	37	83	77	78	79	83	50	43	31	41	50
57	38	35	37	36	38	83	77	79	79	83	51	44	33	43	51
60	40	37	39	39	40	82	77	79	79	82	54	48	38	46	54
61	41	38	40	40	41	82	77	78	79	82	55	48	39	47	55
62	42	38	41	41	42	82	77	78	79	82	55	49	40	48	55
63	43	39	42	41	43	82	77	78	79	82	56	50	42	49	56
64	44	40	43	42	44	82	77	78	79	82	56	51	43	50	56
65	46	41	44	43	46	83	77	78	79	83	57	52	44	51	57
66	47	41	45	44	47	82	77	78	79	82	57	52	45	51	57
67	47	42	46	45	47	82	77	78	79	82	57	53	45	52	57
68	48	43	46	46	48	82	77	78	79	82	58	53	46	52	58
69	49	44	47	47	49	82	76	77	79	82	58	54	46	52	58
70	50	44	48	47	50	82	77	77	79	82	58	54	46	53	58
71	51	45	49	48	51	82	77	77	78	82	58	54	47	53	58
72	52	46	50	49	52	81	77	77	78	81	58	55	47	53	58
73	53	47	51	50	53	81	77	77	78	81	59	55	48	54	59
74	54	47	51	51	54	81	77	77	78	81	59	56	48	54	59
75	55	48	52	51	55	81	77	77	78	81	59	56	48	54	59
76	55	49	53	52	55	80	77	77	78	80	59	57	48	55	59
77	56	49	54	53	56	80	77	77	78	80	59	57	49	55	59
78	57	50	55	54	57	79	77	77	78	79	60	57	49	55	60
79	58	51	56	55	58	78	77	77	77	78	60	58	49	56	60
80	59	52	57	56	59	78	77	77	78	78	60	58	50	56	60
81	59	52	58	56	59	78	77	77	77	78	60	58	50	56	60
82	60	53	59	57	60	78	76	78	77	78	60	58	50	56	60
83	61	53	59	58	61	78	76	77	77	78	60	58	50	56	60
84	61	54	60	58	61	78	76	77	77	78	60	58	50	56	60
85	62	54	60	59	62	78	75	76	76	78	60	58	51	56	60
86	62	55	61	59	62	78	75	76	76	78	60	59	51	56	60
87	63	56	62	60	63	78	75	77	77	78	60	59	51	57	60
88	63	57	63	61	63	78	76	77	77	78	60	59	51	57	60
89	64	57	64	61	64	78	76	77	77	78	60	59	51	57	60
90	64	57	64	62	64	78	76	77	77	78	60	60	51	57	60
91	64	58	65	62	65	78	77	78	77	78	61	60	52	57	61

TEPLOTY (°C) - na povrchu 9 ks výšečí

Čas t (min)	TC - vzorek č. 5b					TC - vzorek č. 6					TC - vzorek č. 7				
	51	52	53	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	45	46	47	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>	54	55	56	T <sub>prům</sub>	T <sub>max</sub>
PHMV	19	19	19	19	19	19	20	19	19	20	20	20	20	20	20
0	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	20	20	20	20
1	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	20	20	20	20
3	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	20	20	20	20
4	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	20	20	20	20
5	20	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	20	20	20	20
6	20	20	20	20	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20
7	20	20	20	20	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20
8	20	20	20	20	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20
9	20	20	20	20	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20
10	20	20	20	20	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20
11	20	20	20	20	20	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
12	20	20	20	20	20	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
13	20	20	20	20	20	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
14	20	20	20	20	20	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
15	20	20	20	20	20	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
16	20	20	20	20	20	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
17	21	20	21	20	21	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
18	21	21	21	21	21	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
19	21	22	27	23	27	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
20	24	25	45	31	45	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
21	35	33	59	42	59	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
22	48	43	66	52	66	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
23	56	51	70	59	70	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
24	61	57	74	64	74	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
25	65	62	76	67	76	21	21	20	21	21	20	20	20	20	20
26	67	65	77	70	77	21	21	20	21	21	21	21	20	20	21
27	67	65	76	70	76	21	21	20	21	21	21	21	20	21	21
28	68	66	75	69	75	21	21	20	21	21	21	22	21	21	22
29	68	66	76	70	76	21	21	20	21	21	21	25	27	24	27
30	69	68	76	71	76	21	21	20	21	21	24	32	54	37	54
31	71	70	78	73	78	21	21	20	21	21	43	44	68	52	68
32	72	72	79	74	79	21	21	20	21	21	63	57	74	65	74
33	73	73	78	74	78	21	21	20	21	21	69	64	76	70	76
34	72	73	78	74	78	21	21	20	21	21	72	67	77	72	77
35	72	73	77	74	77	21	21	20	21	21	73	69	77	73	77
36	72	73	77	74	77	21	21	20	21	21	73	70	78	74	78
37	72	73	76	74	76	21	21	21	21	21	73	70	77	73	77
38	71	73	76	73	76	21	21	21	21	21	73	71	77	73	77
39	71	73	76	73	76	21	21	21	21	21	73	71	77	74	77
40	71	73	76	73	76	21	22	21	21	22	73	72	78	74	78
41	70	73	75	73	75	21	22	21	21	22	73	72	77	74	77



42	70	73	76	73	76	21	22	21	21	22	73	72	77	74	77
43	71	74	76	73	76	21	22	21	22	22	73	72	77	74	77
44	71	73	76	73	76	21	23	22	22	23	73	72	77	74	77
45	71	73	76	73	76	21	23	22	22	23	74	72	76	74	76
46	71	74	76	73	76	21	24	22	22	24	74	73	77	75	77
47	71	74	76	74	76	21	24	23	23	24	74	73	77	75	77
48	71	75	76	74	76	21	25	23	23	25	75	74	78	75	78
49	72	75	76	74	76	21	25	23	23	25	75	75	78	76	78
50	72	75	76	74	76	21	26	24	24	26	75	75	78	76	78
51	72	75	76	74	76	21	26	25	24	26	75	75	78	76	78
52	71	75	76	74	76	21	27	25	24	27	75	75	78	76	78
53	72	75	76	74	76	21	27	26	25	27	74	75	78	75	78
54	72	76	76	75	76	21	28	26	25	28	75	75	78	76	78
55	72	76	76	75	76	21	28	27	26	28	75	76	78	76	78
56	72	76	76	74	76	21	29	28	26	29	75	76	78	76	78
57	72	76	76	74	76	21	30	29	27	30	75	76	78	76	78
60	72	76	76	74	76	21	32	31	28	32	74	76	78	76	78
61	71	76	75	74	76	21	32	32	28	32	74	76	78	76	78
62	71	76	75	74	76	21	33	33	29	33	74	76	78	76	78
63	71	76	75	74	76	21	34	33	29	34	74	76	78	76	78
64	71	75	75	74	75	21	34	34	30	34	74	76	78	76	78
65	71	76	75	74	76	21	35	35	31	35	74	76	78	76	78
66	71	76	75	74	76	21	36	36	31	36	74	76	77	76	77
67	71	75	75	74	75	21	36	36	31	36	74	76	77	76	77
68	71	75	75	74	75	21	37	37	32	37	74	76	78	76	78
69	71	75	75	74	75	22	38	38	32	38	74	76	77	76	77
70	71	75	74	73	75	22	38	38	33	38	74	76	77	75	77
71	71	75	75	74	75	21	38	39	33	39	74	76	77	76	77
72	71	75	74	74	75	22	39	40	33	40	74	76	77	76	77
73	71	75	75	74	75	22	40	41	34	41	74	77	77	76	77
74	71	75	74	74	75	22	40	41	34	41	75	77	77	76	77
75	71	76	75	74	76	21	41	42	35	42	75	77	77	76	77
76	71	76	75	74	76	22	41	43	35	43	74	77	77	76	77
77	72	76	75	74	76	21	42	43	36	43	75	78	78	77	78
78	72	77	76	75	77	22	42	44	36	44	75	78	78	77	78
79	72	76	75	74	76	21	43	45	37	45	74	77	77	76	77
80	71	75	74	73	75	21	44	46	37	46	73	77	77	76	77
81	71	75	74	73	75	21	45	47	38	47	73	77	77	76	77
82	71	75	74	73	75	22	45	48	38	48	73	77	77	76	77
83	71	75	74	73	75	22	45	48	38	48	74	77	77	76	77
84	72	75	74	73	75	22	46	48	39	48	74	77	77	76	77
85	72	75	74	73	75	22	46	49	39	49	74	77	77	76	77
86	72	75	74	74	75	22	46	49	39	49	74	77	77	76	77
87	72	76	74	74	76	22	47	50	39	50	74	70	78	74	78
88	72	76	74	74	76	22	48	51	40	51	74	48	78	67	78
89	72	75	74	74	75	22	48	51	40	51	74	40	77	64	77
90	72	75	75	74	75	22	48	51	40	51	74	38	77	63	77
91	73	75	75	74	75	22	49	52	41	52	74	38	77	63	77

## Příloha D – Stanovení součinitele tepelné vodivosti drcené slámy

### D.1 Zkušební protokol stanovení součinitele tepelné vodivosti drcené slámy



**TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.**  
Technical and Test Institute for Construction Prague  
Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p. je součástí společnosti ZÚS, s.p. se sídlem v Praze 1, IČ: 252 200 156, zapsaná v obchodním rejstříku, vedeném Městským soudem v Praze, oddíl B, vložka 156. ZÚS, s.p. je zapsána v obchodním rejstříku, vedeném Městským soudem v Praze, oddíl B, vložka 156. ZÚS, s.p. je zapsána v obchodním rejstříku, vedeném Městským soudem v Praze, oddíl B, vložka 156.

**Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.**  
**Pobočka 0700 Ostrava - zkušební laboratoř č. 1018.7 akreditovaná ČIA**

# PROTOKOL

č. 070 - 048284

**o zkoušce stanovení součinitele tepelné vodivosti Drcené slámy**  
**objemové hmotnosti 90 kg.m<sup>-3</sup>, 100 kg.m<sup>-3</sup> a 110 kg.m<sup>-3</sup>**

**Zadavatel:** Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
17. listopadu 15/2172  
708 33 Ostrava - Poruba  
Objednávka č.: e-mail ze dne 2014-12-03

**Zakázka č.:** Z070140404

**Výtisk č.:**

**Přílohy:** bez příloh

Tento protokol obsahuje 4 psaných stran včetně strany titulní a byl vyhotoven ve čtyřech stejnopísech. Dva náleží zadavateli, třetí a čtvrtý výtisk je archivován spolu s další dokumentací v TZÚS Praha, s.p. - pobočka Ostrava.

Osoba odpovědná za znění tohoto protokolu:

  
**Ivo Rajnošek**  
technický vedoucí zkušebního oddělení

Osoba odpovědná za správnost tohoto protokolu:

Ostrava 2015-03-11



  
**Ing. Jana Mičicová**  
vedoucí zkušební laboratoře

#### Prohlášení:

- 1) Výsledky zkoušek se týkají jen zkoušeného předmětu (vzorku).
- 2) Bez písemného souhlasu zkušební laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p. Pobočka 0700 - Ostrava U Studia 14, 700 30 Ostrava - Záběh, Česká republika  
☎ +420 595 707 200, 595 707 242, Fax: +420 595 783 065, Internet: +420 595 783 065, e-mail: micicova@tzus.cz, www.tzus.cz  
Bankovní spojení (Bank): KB Praha 1 Czech Republic, ú.č.: 1501-931/0100 IČ: 00015679 DIČ: CZ00015679

## 1 Údaje o předmětu zkoušky (vzorku)

### 1.1 Výrobek

Drcená sláma objemové hmotnosti  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $100 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $110 \text{ kg.m}^{-3}$ .

### 1.2 Termín provedení zkoušek

Zkoušky byly provedeny ve dnech od 2015-03-04 do 2015-03-05.

## 2 Převzetí vzorků

Datum odběru vzorků ve výrobě: neuvedeno  
 Místo odběru: neuvedeno  
 Odebral: Ing. Jiří Teslík, VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební  
 Postup odběru: neuvedeno  
 Datum převzetí v AZL 1018.7: 2015-01-26  
 Převzal: zástupce AZL č. 1018.7 Ing. Tomáš Klepáč  
 Evidenční číslo vzorku v AZL 1018.7: zkušební vzorky byly zaevidovány v elektronické knize vzorků pod číslem VZ070150131 a označeny pořadovými čísly 1, 2 a 3.

Označení vzorku zadavatelem	Drcená sláma objemové hmotnosti $90 \text{ kg.m}^{-3}$ , $100 \text{ kg.m}^{-3}$ a $110 \text{ kg.m}^{-3}$
Označení vzorku zpracovatelem	Sláma 90, vzorek č. 1 Sláma 100, vzorek č. 2 Sláma 110, vzorek č. 3
Počet vzorků dle druhu	3 ks vzorků: $0,0214 \text{ m}^3$

## 3 Údaje o výrobku

Drcená sláma objemové hmotnosti  $90 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $100 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $110 \text{ kg.m}^{-3}$  je určena k technické alternativní tepelné izolaci objektů a budov.

## 4 Zkušební metody, předpisy a postupy

### 4.1 Pro zkoušení byly použity zkušební postupy

Pořadové číslo	Přesný název zkoušky	Identifikace metody
3/38	Stanovení tep. odporu – vodivosti materiálů a výrobků v ustáleném tepelném stavu	IP 07003T038 (ČSN 727012-2, ČSN 727012-3, ČSN 727014, ČSN 727302, ČSN 727306, ČSN EN 12664, ČSN EN 12667, ČSN EN 12939, ČSN EN 13162 čl. 5.3.2, ČSN EN 13163 čl. 5.3.2, ČSN EN 13164 čl. 5.3.2, ČSN EN 13165 čl. 5.3.2, ČSN EN 13166 čl. 5.3.2, ČSN EN 13167 čl. 5.3.2, ČSN EN 13168 čl. 5.3.2, ČSN EN 13169 čl. 5.3.2, ČSN EN 13170 čl. 5.3.2, ČSN EN 13171 čl. 5.3.2, ČSN EN 1946-2)



## 4.2 Upřesnění použitých zkušebních postupů

Pro zkoušení byly použity postupy podle těchto technických specifikací:

- ČSN EN 12667: 2001 Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku - Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu

## 4.3 Nakupované zkoušky

Nejsou

## 5 Zkušební zařízení a jeho metrologická návaznost

Zařízení, měřidlo	Inventární číslo	Metrologická návaznost do:
Svinovací metr digitální	070.03345	2019-08-11
Teploměr	296	2017-03-02
Váha Precisa 12000D-30000G-DR	070.8218	2018-02-03
Měřič tepelné vodivosti LaserComp FOX 801	070.8227 070.8228	Před použitím pomocí etalonu

Zkušební zařízení a měřidla, použitá při zkoušce, jsou metrologicky ověřena a jsou uvedena v metrologickém řádu zkušební laboratoře. Evidenční ověřovací listy jsou uloženy u metrologa laboratoře.

## 6 Zkouška stanovení součinitele tepelné vodivosti

### 6.1 Příprava, identifikace vzorků pro zkoušení, výsledky měření

Zkouška stanovení součinitele tepelné vodivosti byla provedena dle [4] při střední teplotě měření 10 °C na vzorcích Drcené slámy objemové hmotnosti 90 kg.m<sup>-3</sup>, 100 kg.m<sup>-3</sup> a 110 kg.m<sup>-3</sup>.

Výsledky měření jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tepelná vodivost Drcené slámy objemové hmotnosti 90 kg.m <sup>-3</sup> , vzorek č. 1		
Označení vzorku zadavatelem		Drcená sláma objemové hmotnosti 90 kg.m <sup>-3</sup>
Označení vzorku zpracovatelem		Sláma 90, vzorek č. 1
Změřená hodnota součinitele tepelné vodivosti vzorku $\lambda_t$	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	<b>0,04469</b>



Tepelná vodivost Drcené slámy objemové hmotnosti $100 \text{ kg.m}^{-3}$ , vzorek č. 2		
Označení vzorku zadavatelem		Drcená sláma objemové hmotnosti $100 \text{ kg.m}^{-3}$
Označení vzorku zpracovatelem		Sláma 100, vzorek č. 2
Změřená hodnota součinitele tepelné vodivosti vzorku $\lambda$	$[\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	<b>0,04509</b>

Tepelná vodivost Drcené slámy objemové hmotnosti $110 \text{ kg.m}^{-3}$ , vzorek č. 3		
Označení vzorku zadavatelem		Drcená sláma objemové hmotnosti $110 \text{ kg.m}^{-3}$
Označení vzorku zpracovatelem		Sláma 110, vzorek č. 3
Změřená hodnota součinitele tepelné vodivosti vzorku $\lambda$	$[\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	<b>0,04552</b>

KONEC PROTOKOLU



## D.2 Naměřené hodnoty jednotlivých měření součinitele tepelné vodivosti

Číslo měření: 1		Objemová hmotnost:		90	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01: °C	M02: °C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
15.06.2016	15:30:55	7,8	18,2	-5,3	2,080	0,050
15.06.2016	15:31:10	7,9	18,2	-5,3	2,061	0,050
15.06.2016	15:31:25	7,6	18,2	-5,3	2,117	0,049
15.06.2016	15:31:40	7,0	18,2	-5,3	2,238	0,046
15.06.2016	15:31:55	6,9	18,2	-5,3	2,260	0,046
15.06.2016	15:32:10	6,9	18,2	-5,3	2,260	0,046
15.06.2016	15:32:25	7,2	18,2	-5,3	2,196	0,047
15.06.2016	15:32:40	7,0	18,2	-5,3	2,238	0,046
15.06.2016	15:32:55	6,8	18,2	-5,3	2,282	0,045
15.06.2016	15:33:10	6,8	18,2	-5,3	2,282	0,045
15.06.2016	15:33:25	6,8	18,2	-5,3	2,282	0,045
15.06.2016	15:33:40	6,8	18,2	-5,3	2,282	0,045
15.06.2016	15:33:55	6,8	18,2	-5,3	2,282	0,045
15.06.2016	15:34:10	6,8	18,1	-5,3	2,272	0,045
15.06.2016	15:34:25	6,8	18,1	-5,3	2,272	0,045
15.06.2016	15:34:40	7,0	18,1	-5,3	2,229	0,046
15.06.2016	15:34:55	6,8	18,1	-5,3	2,272	0,045
15.06.2016	15:35:10	6,8	18,1	-5,3	2,272	0,045
15.06.2016	15:35:25	7,1	18,1	-5,3	2,208	0,047
15.06.2016	15:35:40	6,8	18,1	-5,3	2,272	0,045
15.06.2016	15:35:55	6,8	18,1	-5,3	2,272	0,045
15.06.2016	15:36:10	6,9	18,1	-5,3	2,250	0,046
15.06.2016	15:36:25	6,9	18,1	-5,3	2,250	0,046
15.06.2016	15:36:40	6,8	18,1	-5,3	2,272	0,045
15.06.2016	15:36:55	6,8	18,1	-5,3	2,272	0,045
15.06.2016	15:37:10	7,0	18,1	-5,4	2,238	0,046
15.06.2016	15:37:25	7,0	18,1	-5,4	2,238	0,046
15.06.2016	15:37:40	7,4	18,1	-5,4	2,156	0,048
15.06.2016	15:37:55	7,0	18,1	-5,4	2,238	0,046
15.06.2016	15:38:10	7,1	18,1	-5,4	2,217	0,047
15.06.2016	15:38:25	7,1	18,1	-5,4	2,217	0,047
15.06.2016	15:38:40	7,1	18,1	-5,4	2,217	0,047
15.06.2016	15:38:55	6,8	18,1	-5,4	2,282	0,045
15.06.2016	15:39:10	7,1	18,1	-5,4	2,217	0,047
15.06.2016	15:39:25	7,1	18,1	-5,4	2,217	0,047
15.06.2016	15:39:40	7,2	18,1	-5,4	2,196	0,047
15.06.2016	15:39:55	7,2	18,1	-5,4	2,196	0,047
15.06.2016	15:40:10	7,3	18,1	-5,4	2,176	0,047
15.06.2016	15:40:25	7,1	18,1	-5,4	2,217	0,047

15.06.2016	15:40:40	7,2	18,1	-5,4	2,196	0,047
15.06.2016	15:40:55	7,1	18,1	-5,4	2,217	0,047
15.06.2016	15:41:10	7,3	18,1	-5,4	2,176	0,047
15.06.2016	15:41:25	7,2	18,1	-5,4	2,196	0,047
15.06.2016	15:41:40	7,2	18,1	-5,4	2,196	0,047
15.06.2016	15:41:55	7,2	18,0	-5,4	2,187	0,047
15.06.2016	15:42:10	7,4	18,0	-5,4	2,147	0,048
15.06.2016	15:42:25	7,4	18,0	-5,4	2,147	0,048
15.06.2016	15:42:40	7,4	18,0	-5,4	2,147	0,048
15.06.2016	15:42:55	7,3	18,0	-5,4	2,167	0,048
15.06.2016	15:43:10	7,1	18,0	-5,4	2,208	0,047
15.06.2016	15:43:25	7,2	18,0	-5,4	2,187	0,047
15.06.2016	15:43:40	7,4	18,0	-5,4	2,147	0,048
15.06.2016	15:43:55	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:44:10	7,3	18,0	-5,4	2,167	0,048
15.06.2016	15:44:25	7,3	18,0	-5,4	2,167	0,048
15.06.2016	15:44:40	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:44:55	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:45:10	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:45:25	7,4	18,0	-5,4	2,147	0,048
15.06.2016	15:45:40	7,4	18,0	-5,4	2,147	0,048
15.06.2016	15:45:55	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:46:10	7,6	18,0	-5,4	2,108	0,049
15.06.2016	15:46:25	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:46:40	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:46:55	7,4	18,0	-5,4	2,147	0,048
15.06.2016	15:47:10	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:47:25	7,5	18,0	-5,4	2,127	0,049
15.06.2016	15:47:40	9,3	18,0	-5,4	1,828	0,057
15.06.2016	15:47:55	8,5	18,0	-5,4	1,950	0,053
15.06.2016	15:48:10	8,1	18,0	-5,4	2,017	0,051
15.06.2016	15:48:25	7,9	18,0	-5,4	2,053	0,050
15.06.2016	15:48:40	7,6	18,0	-5,4	2,108	0,049
15.06.2016	15:48:55	7,9	18,0	-5,4	2,053	0,050
15.06.2016	15:49:10	9,3	18,0	-5,4	1,828	0,057
15.06.2016	15:49:25	9,6	18,0	-5,4	1,786	0,058
15.06.2016	15:49:40	9,7	18,0	-5,4	1,773	0,059
15.06.2016	15:49:55	10,4	18,0	-5,4	1,683	0,062
15.06.2016	15:50:10	10,1	18,1	-5,4	1,728	0,060
15.06.2016	15:50:25	9,9	18,0	-5,4	1,746	0,060
15.06.2016	15:50:26	10,2	18,1	-5,4	1,715	0,061
					Průměrná hodnota	
					2,145	0,048



Číslo měření: 2		Objemová hmotnost:		90	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
09.06.2016	19:03:55	10,5	17,3	-8,6	2,467	0,042
09.06.2016	19:08:55	10,3	17,3	-8,6	2,515	0,041
09.06.2016	19:13:55	10,5	17,3	-8,5	2,457	0,042
09.06.2016	19:18:55	10,3	17,3	-8,5	2,505	0,041
09.06.2016	19:23:55	10,6	17,3	-8,5	2,434	0,042
09.06.2016	19:28:55	10,7	17,2	-8,5	2,402	0,043
09.06.2016	19:33:55	10,4	17,2	-8,5	2,471	0,042
09.06.2016	19:38:55	10,7	17,2	-8,5	2,402	0,043
09.06.2016	19:43:55	10,7	17,2	-8,5	2,402	0,043
09.06.2016	19:48:55	10,8	17,2	-8,4	2,370	0,043
09.06.2016	19:53:55	10,8	17,2	-8,4	2,370	0,043
09.06.2016	19:58:55	10,7	17,1	-8,4	2,383	0,043
09.06.2016	20:03:55	11,1	17,1	-8,4	2,297	0,045
09.06.2016	20:08:55	10,9	17,1	-8,3	2,330	0,044
09.06.2016	20:13:55	11,0	17,1	-8,3	2,309	0,045
09.06.2016	20:18:55	10,9	17,1	-8,3	2,330	0,044
09.06.2016	20:23:55	11,0	17,1	-8,3	2,309	0,045
09.06.2016	20:28:55	11,0	17,1	-8,2	2,300	0,045
09.06.2016	20:33:55	10,7	17,0	-8,2	2,355	0,044
09.06.2016	20:38:55	10,7	17,0	-8,2	2,355	0,044
09.06.2016	20:43:55	10,8	17,0	-8,2	2,333	0,044
09.06.2016	20:48:55	11,1	17,0	-8,2	2,270	0,045
09.06.2016	20:53:55	10,7	17,0	-8,1	2,346	0,044
09.06.2016	20:58:55	11,1	17,0	-8,1	2,261	0,046
09.06.2016	21:03:55	11,1	17,0	-8,1	2,261	0,046
09.06.2016	21:08:55	10,7	17,0	-8,0	2,336	0,044
09.06.2016	21:13:55	11,2	17,0	-8,0	2,232	0,046
09.06.2016	21:18:55	11,0	16,9	-8,0	2,264	0,046
09.06.2016	21:23:55	10,7	16,9	-8,0	2,327	0,044
09.06.2016	21:28:55	11,0	16,9	-8,0	2,264	0,046
09.06.2016	21:33:55	11,2	16,9	-8,0	2,223	0,046
09.06.2016	21:38:55	11,3	16,9	-7,9	2,195	0,047
09.06.2016	21:43:55	10,9	16,9	-7,9	2,275	0,045
09.06.2016	21:48:55	11,1	16,9	-7,9	2,234	0,046
09.06.2016	21:53:55	11,0	16,9	-7,9	2,255	0,046
09.06.2016	21:58:55	11,1	16,9	-7,9	2,234	0,046
09.06.2016	22:03:55	11,3	16,9	-7,8	2,186	0,047
09.06.2016	22:08:55	11,1	16,9	-7,8	2,225	0,046
09.06.2016	22:13:55	11,0	16,9	-7,8	2,245	0,046
09.06.2016	22:18:55	10,9	16,9	-7,8	2,266	0,045
09.06.2016	22:23:55	10,9	16,9	-7,7	2,257	0,046



09.06.2016	22:28:55	10,7	16,9	-7,7	2,299	0,045
09.06.2016	22:33:55	11,0	16,9	-7,7	2,236	0,046
09.06.2016	22:38:55	11,2	16,9	-7,7	2,196	0,047
09.06.2016	22:43:55	11,1	16,9	-7,7	2,216	0,047
09.06.2016	22:48:55	11,0	16,9	-7,6	2,227	0,046
09.06.2016	22:53:55	11,0	16,9	-7,6	2,227	0,046
09.06.2016	22:58:55	10,9	16,9	-7,6	2,248	0,046
09.06.2016	23:03:55	10,9	16,9	-7,6	2,248	0,046
09.06.2016	23:08:55	11,1	16,9	-7,5	2,198	0,047
09.06.2016	23:13:55	11,0	16,9	-7,5	2,218	0,046
09.06.2016	23:18:55	10,9	16,9	-7,5	2,239	0,046
09.06.2016	23:23:55	10,8	16,9	-7,5	2,259	0,046
09.06.2016	23:28:55	10,8	16,9	-7,5	2,259	0,046
09.06.2016	23:33:55	10,8	16,9	-7,5	2,259	0,046
09.06.2016	23:38:55	11,6	16,9	-7,4	2,095	0,049
09.06.2016	23:43:55	11,4	16,9	-7,4	2,132	0,048
09.06.2016	23:48:55	10,8	16,9	-7,4	2,250	0,046
09.06.2016	23:53:55	11,0	16,9	-7,4	2,209	0,047
09.06.2016	23:58:55	10,8	16,9	-7,4	2,250	0,046
10.06.2016	0:03:55	10,9	16,9	-7,3	2,220	0,046
10.06.2016	0:08:55	11,0	16,9	-7,3	2,200	0,047
10.06.2016	0:13:55	11,0	16,9	-7,3	2,200	0,047
10.06.2016	0:18:55	10,8	16,9	-7,2	2,231	0,046
10.06.2016	0:23:55	10,5	16,9	-7,2	2,295	0,045
10.06.2016	0:28:55	10,9	16,9	-7,2	2,211	0,047
10.06.2016	0:33:55	10,7	16,9	-7,2	2,252	0,046
10.06.2016	0:38:55	10,6	16,9	-7,2	2,274	0,045
10.06.2016	0:43:55	10,7	16,9	-7,1	2,243	0,046
10.06.2016	0:48:55	10,9	16,9	-7,1	2,202	0,047
10.06.2016	0:53:55	10,6	16,9	-7,1	2,264	0,046
10.06.2016	0:58:55	10,6	16,9	-7,1	2,264	0,046
10.06.2016	1:03:55	11,2	16,9	-7,1	2,143	0,048
10.06.2016	1:08:55	10,7	16,9	-7,0	2,234	0,046
10.06.2016	1:13:55	10,8	16,9	-7,0	2,213	0,047
10.06.2016	1:18:55	11,0	16,9	-7,0	2,173	0,047
10.06.2016	1:23:55	10,6	16,9	-7,0	2,255	0,046
10.06.2016	1:28:55	10,5	16,9	-7,0	2,276	0,045
10.06.2016	1:33:55	10,6	16,9	-6,9	2,245	0,046
10.06.2016	1:38:55	10,7	16,9	-6,9	2,224	0,046
10.06.2016	1:43:55	10,8	16,9	-6,9	2,204	0,047
10.06.2016	1:48:55	10,5	16,9	-6,9	2,267	0,045
10.06.2016	1:53:55	10,5	16,9	-6,9	2,267	0,045
10.06.2016	1:58:55	10,7	16,8	-6,9	2,215	0,047
10.06.2016	2:03:55	10,7	16,8	-6,9	2,215	0,047
10.06.2016	2:08:55	10,7	16,8	-6,9	2,215	0,047
10.06.2016	2:13:55	10,5	16,9	-6,8	2,257	0,046
10.06.2016	2:18:55	10,4	16,8	-6,8	2,269	0,045
10.06.2016	2:23:55	10,4	16,9	-6,8	2,279	0,045
10.06.2016	2:28:55	10,4	16,9	-6,8	2,279	0,045

10.06.2016	2:33:55	10,4	16,9	-6,8	2,279	0,045
10.06.2016	2:38:55	10,4	16,8	-6,8	2,269	0,045
10.06.2016	2:43:55	10,3	16,8	-6,8	2,291	0,045
10.06.2016	2:48:55	10,9	16,8	-6,8	2,165	0,048
10.06.2016	2:53:55	10,5	16,8	-6,7	2,238	0,046
10.06.2016	2:58:55	10,2	16,8	-6,7	2,304	0,045
10.06.2016	3:03:55	10,4	16,8	-6,7	2,260	0,046
10.06.2016	3:08:55	11,0	16,8	-6,7	2,136	0,048
10.06.2016	3:13:55	11,1	16,8	-6,7	2,117	0,049
10.06.2016	3:18:55	11,2	16,8	-6,7	2,098	0,049
10.06.2016	3:23:55	10,5	16,8	-6,6	2,229	0,046
10.06.2016	3:28:55	10,3	16,8	-6,6	2,272	0,045
10.06.2016	3:33:55	10,1	16,8	-6,7	2,327	0,044
10.06.2016	3:38:55	10,2	16,8	-6,6	2,294	0,045
10.06.2016	3:43:55	10,1	16,8	-6,6	2,317	0,044
10.06.2016	3:48:55	10,3	16,8	-6,6	2,272	0,045
10.06.2016	3:53:55	10,4	16,8	-6,6	2,250	0,046
10.06.2016	3:58:55	10,2	16,8	-6,6	2,294	0,045
10.06.2016	4:03:55	10,3	16,8	-6,6	2,272	0,045
10.06.2016	4:08:55	10,2	16,8	-6,6	2,294	0,045
10.06.2016	4:13:55	10,1	16,8	-6,6	2,317	0,044
10.06.2016	4:18:55	10,1	16,8	-6,6	2,317	0,044
10.06.2016	4:23:55	10,7	16,8	-6,6	2,187	0,047
10.06.2016	4:28:55	10,6	16,8	-6,5	2,198	0,047
10.06.2016	4:33:55	10,3	16,8	-6,5	2,262	0,046
10.06.2016	4:38:55	10,1	16,8	-6,5	2,307	0,045
10.06.2016	4:43:55	10,2	16,8	-6,5	2,284	0,045
10.06.2016	4:48:55	10,1	16,7	-6,5	2,297	0,045
10.06.2016	4:53:55	10,7	16,8	-6,5	2,178	0,047
10.06.2016	4:58:55	10,0	16,7	-6,5	2,320	0,044
10.06.2016	5:03:55	10,1	16,7	-6,5	2,297	0,045
10.06.2016	5:08:55	10,1	16,7	-6,5	2,297	0,045
10.06.2016	5:13:55	10,1	16,7	-6,5	2,297	0,045
10.06.2016	5:18:55	10,3	16,8	-6,4	2,252	0,046
10.06.2016	5:23:55	10,2	16,7	-6,4	2,265	0,045
10.06.2016	5:28:55	10,4	16,7	-6,4	2,221	0,046
10.06.2016	5:33:55	10,0	16,7	-6,4	2,310	0,045
10.06.2016	5:38:55	10,1	16,7	-6,4	2,287	0,045
10.06.2016	5:43:55	10,1	16,8	-6,4	2,297	0,045
10.06.2016	5:48:55	10,3	16,7	-6,4	2,243	0,046
10.06.2016	5:53:55	10,1	16,7	-6,4	2,287	0,045
10.06.2016	5:58:55	10,0	16,7	-6,4	2,310	0,045
10.06.2016	6:03:55	10,0	16,7	-6,4	2,310	0,045
10.06.2016	6:08:55	10,1	16,7	-6,4	2,287	0,045
10.06.2016	6:13:55	10,2	16,7	-6,4	2,265	0,045
10.06.2016	6:18:55	10,0	16,7	-6,4	2,310	0,045
10.06.2016	6:23:55	10,3	16,7	-6,4	2,243	0,046
10.06.2016	6:28:55	10,0	16,7	-6,4	2,310	0,045
10.06.2016	6:33:55	10,0	16,7	-6,4	2,310	0,045

10.06.2016	6:38:55	10,2	16,7	-6,3	2,255	0,046
10.06.2016	6:43:55	9,9	16,7	-6,3	2,323	0,044
10.06.2016	6:48:55	10,3	16,7	-6,3	2,233	0,046
10.06.2016	6:53:55	10,1	16,7	-6,3	2,277	0,045
10.06.2016	6:58:55	10,0	16,7	-6,3	2,300	0,045
10.06.2016	7:03:55	9,7	16,8	-6,3	2,381	0,043
10.06.2016	7:08:55	10,1	16,7	-6,2	2,267	0,045
10.06.2016	7:13:55	10,2	16,8	-6,2	2,255	0,046
10.06.2016	7:18:55	10,1	16,8	-6,2	2,277	0,045
10.06.2016	7:23:55	10,2	16,8	-6,2	2,255	0,046
10.06.2016	7:28:55	10,1	16,8	-6,2	2,277	0,045
10.06.2016	7:33:55	10,0	16,8	-6,2	2,300	0,045
10.06.2016	7:38:55	10,1	16,8	-6,1	2,267	0,045
10.06.2016	7:43:55	13,0	16,9	-6,1	1,769	0,059
					Průměrná hodnota	
					2,269	0,045

Číslo měření:	3	Objemová hmotnost:		90	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
21.07.2016	11:57:16	9,9	17,4	-5,2	2,283	0,044
21.07.2016	12:01:16	10,3	17,4	-5,2	2,194	0,046
21.07.2016	12:05:16	10,2	17,4	-5,1	2,206	0,045
21.07.2016	12:09:16	10,3	17,3	-5,1	2,175	0,046
21.07.2016	12:13:16	10,4	17,3	-5,1	2,154	0,046
21.07.2016	12:17:16	10,6	17,3	-5,1	2,113	0,047
21.07.2016	12:21:16	10,5	17,3	-5,1	2,133	0,047
21.07.2016	12:25:16	10,7	17,2	-5,1	2,084	0,048
21.07.2016	12:29:16	11,0	17,2	-5,1	2,027	0,049
21.07.2016	12:33:16	10,8	17,2	-5,0	2,056	0,049
21.07.2016	12:37:16	11,1	17,2	-5,0	2,000	0,050
21.07.2016	12:41:16	11,1	17,2	-5,0	2,000	0,050
21.07.2016	12:45:16	11,2	17,1	-5,0	1,973	0,051
21.07.2016	12:49:16	11,3	17,1	-5,0	1,956	0,051
21.07.2016	12:53:16	11,4	17,2	-4,9	1,939	0,052
21.07.2016	12:57:16	11,3	17,1	-4,9	1,947	0,051
21.07.2016	13:01:16	11,5	17,1	-4,9	1,913	0,052
21.07.2016	13:05:16	11,5	17,1	-4,9	1,913	0,052
21.07.2016	13:09:16	11,4	17,1	-4,9	1,930	0,052
21.07.2016	13:13:16	11,5	17,1	-4,8	1,904	0,053
21.07.2016	13:17:16	11,9	17,1	-4,8	1,840	0,054
21.07.2016	13:21:16	11,5	17,1	-4,8	1,904	0,053
21.07.2016	13:25:16	11,4	17,1	-4,8	1,921	0,052

21.07.2016	13:29:16	11,7	17,1	-4,7	1,863	0,054
21.07.2016	13:33:16	11,9	17,1	-4,7	1,832	0,055
21.07.2016	13:37:16	11,8	17,1	-4,7	1,847	0,054
21.07.2016	13:41:16	11,5	17,1	-4,6	1,887	0,053
21.07.2016	13:45:16	11,7	17,1	-4,6	1,855	0,054
21.07.2016	13:49:16	12,0	17,1	-4,6	1,808	0,055
21.07.2016	13:53:16	12,0	17,1	-4,5	1,800	0,056
21.07.2016	13:57:16	12,1	17,1	-4,5	1,785	0,056
21.07.2016	14:01:16	11,7	17,1	-4,5	1,846	0,054
21.07.2016	14:05:16	11,9	17,1	-4,5	1,815	0,055
21.07.2016	14:09:16	12,0	17,1	-4,4	1,792	0,056
21.07.2016	14:13:16	11,9	17,1	-4,4	1,807	0,055
21.07.2016	14:17:16	11,9	17,1	-4,4	1,807	0,055
21.07.2016	14:21:16	12,4	17,1	-4,4	1,734	0,058
21.07.2016	14:25:16	12,0	17,2	-4,3	1,792	0,056
21.07.2016	14:29:16	11,9	17,2	-4,3	1,807	0,055
21.07.2016	14:33:16	12,0	17,2	-4,3	1,792	0,056
21.07.2016	14:37:16	12,0	17,1	-4,2	1,775	0,056
21.07.2016	14:41:16	11,9	17,2	-4,2	1,798	0,056
21.07.2016	14:45:16	11,9	17,2	-4,2	1,798	0,056
21.07.2016	14:49:16	11,8	17,2	-4,2	1,814	0,055
21.07.2016	14:53:16	11,9	17,2	-4,1	1,790	0,056
21.07.2016	14:57:16	11,9	17,2	-4,1	1,790	0,056
21.07.2016	15:01:16	11,9	17,2	-4,1	1,790	0,056
21.07.2016	15:05:16	11,9	17,2	-4,0	1,782	0,056
21.07.2016	15:09:16	11,8	17,2	-4,0	1,797	0,056
21.07.2016	15:13:16	11,8	17,2	-4,0	1,797	0,056
21.07.2016	15:17:16	12,1	17,2	-3,9	1,744	0,057
21.07.2016	15:21:16	11,9	17,2	-3,9	1,773	0,056
21.07.2016	15:25:16	12,0	17,2	-3,9	1,758	0,057
21.07.2016	15:29:16	12,0	17,2	-3,9	1,758	0,057
21.07.2016	15:29:31	12,6	17,2	-3,9	1,675	0,060
					Průměrná hodnota	
					1,892	0,053

Číslo měření:	4	Objemová hmotnost:		90	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
04.07.2015	13:10:59	13,1	18,1	-7,3	1,939	0,052
04.07.2015	13:14:59	12,4	18,1	-7,3	2,048	0,049
04.07.2015	13:18:59	12,5	18,1	-7,2	2,024	0,049
04.07.2015	13:22:59	12,3	18,1	-7,2	2,057	0,049

04.07.2015	13:26:59	12,5	18,1	-7,2	2,024	0,049
04.07.2015	13:30:59	13,0	18,1	-7,1	1,938	0,052
04.07.2015	13:34:59	12,6	18,1	-7,1	2,000	0,050
04.07.2015	13:38:59	12,9	18,1	-7,1	1,953	0,051
04.07.2015	13:42:59	12,9	18,1	-7,1	1,953	0,051
04.07.2015	13:46:59	12,4	18,1	-7,0	2,024	0,049
04.07.2015	13:50:59	13,1	18,2	-7,0	1,924	0,052
04.07.2015	13:54:59	13,2	18,2	-7,0	1,909	0,052
04.07.2015	13:58:59	12,9	18,2	-6,9	1,946	0,051
04.07.2015	14:02:59	12,9	18,2	-6,9	1,946	0,051
04.07.2015	14:06:59	13,0	18,2	-6,9	1,931	0,052
04.07.2015	14:10:59	12,9	18,2	-6,9	1,946	0,051
04.07.2015	14:14:59	12,7	18,2	-6,8	1,969	0,051
04.07.2015	14:18:59	12,7	18,2	-6,8	1,969	0,051
04.07.2015	14:22:59	13,1	18,2	-6,8	1,908	0,052
04.07.2015	14:26:59	12,9	18,2	-6,7	1,930	0,052
04.07.2015	14:30:59	12,9	18,2	-6,7	1,930	0,052
04.07.2015	14:34:59	12,8	18,2	-6,7	1,945	0,051
04.07.2015	14:38:59	13,5	18,2	-6,6	1,837	0,054
04.07.2015	14:42:59	13,0	18,2	-6,6	1,908	0,052
04.07.2015	14:46:59	12,6	18,3	-6,6	1,976	0,051
04.07.2015	14:50:59	12,6	18,3	-6,5	1,968	0,051
04.07.2015	14:54:59	13,0	18,3	-6,5	1,908	0,052
04.07.2015	14:58:59	13,0	18,3	-6,5	1,908	0,052
04.07.2015	15:02:59	12,8	18,3	-6,4	1,930	0,052
04.07.2015	15:06:59	12,7	18,3	-6,4	1,945	0,051
04.07.2015	15:10:59	12,8	18,3	-6,4	1,930	0,052
04.07.2015	15:13:32	14,2	18,3	-6,4	1,739	0,057
					Průměrná hodnota	
					1,946	0,051

Číslo měření: 1		Objemová hmotnost:		100	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
16.06.2016	13:01:37,00	11,5	17,4	-4,0	1,861	0,056
16.06.2016	13:01:52,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:02:07,00	11,2	17,5	-4,0	1,920	0,054
16.06.2016	13:02:22,00	11,3	17,4	-4,0	1,894	0,055
16.06.2016	13:02:37,00	11,0	17,4	-4,0	1,945	0,053
16.06.2016	13:02:52,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054

16.06.2016	13:03:07,00	11,4	17,5	-4,0	1,886	0,055
16.06.2016	13:03:22,00	11,3	17,5	-4,0	1,903	0,054
16.06.2016	13:03:37,00	11,3	17,5	-4,0	1,903	0,054
16.06.2016	13:03:52,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:04:07,00	11,5	17,5	-4,0	1,870	0,055
16.06.2016	13:04:22,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:04:37,00	11,2	17,5	-4,0	1,920	0,054
16.06.2016	13:04:52,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:05:07,00	11,3	17,5	-4,0	1,903	0,054
16.06.2016	13:05:22,00	11,3	17,5	-4,0	1,903	0,054
16.06.2016	13:05:37,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:05:52,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:06:07,00	11,2	17,5	-4,0	1,920	0,054
16.06.2016	13:06:22,00	11,5	17,5	-4,0	1,870	0,055
16.06.2016	13:06:37,00	11,2	17,5	-4,0	1,920	0,054
16.06.2016	13:06:52,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:07:07,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:07:22,00	11,5	17,5	-4,0	1,870	0,055
16.06.2016	13:07:37,00	11,4	17,5	-4,0	1,886	0,055
16.06.2016	13:07:52,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:08:07,00	11,2	17,5	-4,0	1,920	0,054
16.06.2016	13:08:22,00	11,1	17,5	-4,0	1,937	0,053
16.06.2016	13:08:37,00	11,0	17,4	-4,0	1,945	0,053
16.06.2016	13:08:52,00	11,2	17,5	-4,0	1,920	0,054
16.06.2016	13:09:07,00	11,2	17,4	-4,0	1,911	0,054
16.06.2016	13:09:22,00	11,3	17,5	-4,0	1,903	0,054
16.06.2016	13:09:37,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:09:52,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:10:07,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:10:22,00	11,2	17,4	-4,0	1,911	0,054
16.06.2016	13:10:37,00	11,3	17,4	-4,0	1,894	0,055
16.06.2016	13:10:52,00	11,3	17,4	-4,0	1,894	0,055
16.06.2016	13:11:07,00	11,2	17,4	-4,0	1,911	0,054
16.06.2016	13:11:22,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:11:37,00	11,2	17,4	-4,0	1,911	0,054
16.06.2016	13:11:52,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:12:07,00	11,2	17,4	-4,0	1,911	0,054
16.06.2016	13:12:22,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:12:37,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:12:52,00	11,3	17,4	-4,0	1,894	0,055
16.06.2016	13:13:07,00	11,3	17,4	-4,0	1,894	0,055
16.06.2016	13:13:22,00	11,2	17,4	-4,0	1,911	0,054
16.06.2016	13:13:37,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:13:52,00	11,4	17,4	-4,0	1,877	0,055
16.06.2016	13:14:07,00	11,0	17,4	-4,0	1,945	0,053
16.06.2016	13:14:22,00	11,6	17,4	-4,0	1,845	0,056
16.06.2016	13:14:37,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:14:52,00	11,1	17,4	-4,0	1,928	0,054
16.06.2016	13:15:07,00	11,0	17,4	-3,9	1,936	0,053

16.06.2016	13:15:22,00	11,1	17,4	-3,9	1,919	0,054
16.06.2016	13:15:37,00	11,1	17,4	-3,9	1,919	0,054
16.06.2016	13:15:52,00	11,3	17,4	-3,9	1,885	0,055
16.06.2016	13:16:07,00	11,4	17,4	-3,9	1,868	0,056
16.06.2016	13:16:22,00	11,4	17,4	-3,9	1,868	0,056
16.06.2016	13:16:37,00	11,3	17,4	-3,9	1,885	0,055
16.06.2016	13:16:52,00	11,3	17,5	-3,9	1,894	0,055
16.06.2016	13:17:07,00	11,4	17,5	-3,9	1,877	0,055
16.06.2016	13:17:22,00	11,2	17,5	-3,9	1,911	0,054
16.06.2016	13:17:37,00	11,3	17,5	-3,9	1,894	0,055
16.06.2016	13:17:52,00	11,3	17,5	-3,9	1,894	0,055
16.06.2016	13:18:07,00	11,2	17,5	-3,9	1,911	0,054
16.06.2016	13:18:22,00	11,2	17,5	-3,9	1,911	0,054
16.06.2016	13:18:37,00	11,1	17,5	-3,9	1,928	0,054
16.06.2016	13:18:52,00	11,1	17,5	-3,9	1,928	0,054
16.06.2016	13:19:07,00	11,2	17,5	-3,9	1,911	0,054
16.06.2016	13:19:22,00	11,5	17,5	-3,9	1,861	0,056
16.06.2016	13:19:37,00	11,3	17,5	-3,9	1,894	0,055
16.06.2016	13:19:52,00	11,2	17,5	-3,9	1,911	0,054
16.06.2016	13:20:07,00	11,1	17,5	-3,9	1,928	0,054
16.06.2016	13:20:22,00	11,3	17,5	-3,9	1,894	0,055
16.06.2016	13:20:37,00	11,3	17,5	-3,9	1,894	0,055
16.06.2016	13:20:52,00	11,4	17,5	-3,9	1,877	0,055
16.06.2016	13:21:07,00	11,3	17,5	-3,9	1,894	0,055
16.06.2016	13:21:22,00	11,2	17,5	-3,9	1,911	0,054
16.06.2016	13:21:37,00	11,5	17,5	-3,9	1,861	0,056
16.06.2016	13:21:52,00	11,4	17,5	-3,9	1,877	0,055
16.06.2016	13:22:07,00	11,4	17,5	-3,9	1,877	0,055
16.06.2016	13:22:22,00	11,5	17,5	-3,9	1,861	0,056
16.06.2016	13:22:37,00	11,5	17,5	-3,9	1,861	0,056
16.06.2016	13:22:52,00	11,1	17,5	-3,9	1,928	0,054
16.06.2016	13:23:07,00	11,4	17,5	-3,9	1,877	0,055
16.06.2016	13:23:22,00	11,5	17,5	-3,9	1,861	0,056
16.06.2016	13:23:37,00	11,5	17,5	-3,9	1,861	0,056
16.06.2016	13:23:52,00	11,5	17,5	-3,9	1,861	0,056
16.06.2016	13:24:02,00	11,5	17,5	-3,9	1,861	0,056
16.06.2016	15:01:43,00	11,5	17,6	-3,5	1,835	0,057
16.06.2016	15:01:58,00	12,5	17,6	-3,5	1,688	0,062
16.06.2016	15:02:13,00	12,3	17,7	-3,5	1,724	0,060
16.06.2016	15:02:28,00	12,6	17,7	-3,5	1,683	0,062
16.06.2016	15:02:43,00	12,0	17,7	-3,5	1,767	0,059
16.06.2016	15:02:58,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:03:13,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:03:28,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:03:43,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:03:58,00	11,8	17,7	-3,5	1,797	0,058
16.06.2016	15:04:13,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:04:28,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:04:43,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057

16.06.2016	15:04:58,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:05:13,00	11,9	17,7	-3,5	1,782	0,058
16.06.2016	15:05:28,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:05:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:05:58,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:06:13,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:06:28,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:06:43,00	11,9	17,7	-3,5	1,782	0,058
16.06.2016	15:06:58,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:07:13,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:07:28,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:07:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:07:58,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:08:13,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:08:28,00	11,8	17,7	-3,5	1,797	0,058
16.06.2016	15:08:43,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:08:58,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:09:13,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:09:28,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:09:43,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:09:58,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:10:13,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:10:28,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:10:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:10:58,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:11:13,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:11:28,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:11:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:11:58,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:12:13,00	11,2	17,7	-3,5	1,893	0,055
16.06.2016	15:12:28,00	11,1	17,7	-3,5	1,910	0,054
16.06.2016	15:12:43,00	11,2	17,7	-3,5	1,893	0,055
16.06.2016	15:12:58,00	11,1	17,7	-3,5	1,910	0,054
16.06.2016	15:13:13,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:13:28,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:13:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:13:58,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:14:13,00	11,1	17,7	-3,5	1,910	0,054
16.06.2016	15:14:28,00	11,3	17,7	-3,5	1,876	0,055
16.06.2016	15:14:43,00	11,1	17,7	-3,5	1,910	0,054
16.06.2016	15:14:58,00	11,1	17,7	-3,5	1,910	0,054
16.06.2016	15:15:13,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:15:28,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:15:43,00	11,9	17,7	-3,5	1,782	0,058
16.06.2016	15:15:58,00	11,9	17,7	-3,5	1,782	0,058
16.06.2016	15:16:13,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:16:28,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:16:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:16:58,00	11,2	17,7	-3,5	1,893	0,055



16.06.2016	15:17:13,00	11,3	17,7	-3,5	1,876	0,055
16.06.2016	15:17:28,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:17:43,00	11,2	17,7	-3,5	1,893	0,055
16.06.2016	15:17:58,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:18:13,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:18:28,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:18:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:18:58,00	12,0	17,7	-3,5	1,767	0,059
16.06.2016	15:19:13,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:19:28,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:19:43,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:19:58,00	11,6	17,7	-3,5	1,828	0,057
16.06.2016	15:20:13,00	11,3	17,7	-3,5	1,876	0,055
16.06.2016	15:20:28,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:20:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:20:58,00	11,7	17,7	-3,5	1,812	0,057
16.06.2016	15:21:13,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:21:28,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:21:43,00	11,1	17,7	-3,5	1,910	0,054
16.06.2016	15:21:58,00	11,1	17,7	-3,5	1,910	0,054
16.06.2016	15:22:13,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:22:28,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:22:43,00	11,5	17,7	-3,5	1,843	0,056
16.06.2016	15:22:58,00	11,2	17,7	-3,5	1,893	0,055
16.06.2016	15:23:13,00	11,3	17,7	-3,5	1,876	0,055
16.06.2016	15:23:28,00	11,1	17,6	-3,5	1,901	0,055
16.06.2016	15:23:43,00	11,3	17,7	-3,5	1,876	0,055
16.06.2016	15:23:58,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:24:13,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
16.06.2016	15:24:13,00	11,4	17,7	-3,5	1,860	0,056
					Průměrná hodnota	
					1,872	0,055

Číslo měření:	2	Objemová hmotnost:		100	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
13.06.2015	20:06:07	11,0	17,4	-5,6	2,091	0,049
13.06.2015	20:11:07	10,8	17,4	-5,6	2,130	0,048
13.06.2015	20:16:07	11,0	17,4	-5,6	2,091	0,049
13.06.2015	20:21:07	11,1	17,4	-5,6	2,072	0,050
13.06.2015	20:26:07	11,1	17,3	-5,5	2,054	0,050

13.06.2015	20:31:07	11,2	17,3	-5,5	2,036	0,051
13.06.2015	20:36:07	11,3	17,3	-5,5	2,018	0,051
13.06.2015	20:41:07	11,5	17,3	-5,5	1,983	0,052
13.06.2015	20:46:07	11,4	17,3	-5,5	2,000	0,052
13.06.2015	20:51:07	11,5	17,3	-5,4	1,974	0,052
13.06.2015	20:56:07	11,5	17,3	-5,4	1,974	0,052
13.06.2015	21:01:07	11,5	17,3	-5,4	1,974	0,052
13.06.2015	21:06:07	11,5	17,3	-5,4	1,974	0,052
13.06.2015	21:11:07	11,7	17,3	-5,4	1,940	0,053
13.06.2015	21:16:07	11,6	17,3	-5,3	1,948	0,053
13.06.2015	21:21:07	11,5	17,2	-5,3	1,957	0,053
13.06.2015	21:26:07	11,5	17,2	-5,3	1,957	0,053
13.06.2015	21:31:07	11,6	17,2	-5,3	1,940	0,053
13.06.2015	21:36:07	11,7	17,2	-5,3	1,923	0,054
13.06.2015	21:41:07	11,5	17,2	-5,3	1,957	0,053
13.06.2015	21:46:07	11,9	17,2	-5,2	1,882	0,055
13.06.2015	21:51:07	11,7	17,2	-5,2	1,915	0,054
13.06.2015	21:56:07	11,7	17,2	-5,2	1,915	0,054
13.06.2015	22:01:07	11,9	17,2	-5,2	1,882	0,055
13.06.2015	22:06:07	12,0	17,2	-5,2	1,867	0,056
13.06.2015	22:11:07	11,6	17,2	-5,2	1,931	0,054
13.06.2015	22:16:07	11,6	17,2	-5,1	1,922	0,054
13.06.2015	22:21:07	11,8	17,2	-5,1	1,890	0,055
13.06.2015	22:26:07	11,8	17,2	-5,1	1,890	0,055
13.06.2015	22:31:07	11,7	17,2	-5,1	1,906	0,054
13.06.2015	22:36:07	11,8	17,2	-5,1	1,890	0,055
13.06.2015	22:41:07	12,0	17,2	-5,1	1,858	0,056
13.06.2015	22:46:07	11,9	17,2	-5,0	1,866	0,056
13.06.2015	22:51:07	11,7	17,2	-5,0	1,897	0,055
13.06.2015	22:56:07	11,6	17,2	-5,0	1,914	0,054
13.06.2015	23:01:07	11,7	17,1	-5,0	1,889	0,055
13.06.2015	23:06:07	11,5	17,2	-5,0	1,930	0,054
13.06.2015	23:11:07	11,9	17,2	-5,0	1,866	0,056
13.06.2015	23:16:07	11,7	17,2	-5,0	1,897	0,055
13.06.2015	23:21:07	11,8	17,2	-4,9	1,873	0,055
13.06.2015	23:26:07	11,7	17,2	-4,9	1,889	0,055
13.06.2015	23:31:07	11,9	17,2	-4,9	1,857	0,056
13.06.2015	23:36:07	11,8	17,2	-4,9	1,873	0,055
13.06.2015	23:41:07	11,6	17,2	-4,9	1,905	0,054
13.06.2015	23:46:07	11,7	17,2	-4,9	1,889	0,055
13.06.2015	23:51:07	11,7	17,2	-4,9	1,889	0,055
13.06.2015	23:56:07	11,6	17,2	-4,8	1,897	0,055
14.06.2015	0:01:07	11,5	17,1	-4,8	1,904	0,054
14.06.2015	0:06:07	11,5	17,1	-4,8	1,904	0,054
14.06.2015	0:11:07	11,8	17,1	-4,8	1,856	0,056
14.06.2015	0:16:07	11,8	17,2	-4,8	1,864	0,056
14.06.2015	0:21:07	11,5	17,2	-4,8	1,913	0,054
14.06.2015	0:26:07	11,7	17,2	-4,8	1,880	0,055
14.06.2015	0:31:07	11,7	17,2	-4,7	1,872	0,055

14.06.2015	0:36:07	11,8	17,2	-4,7	1,856	0,056
14.06.2015	0:41:07	11,6	17,2	-4,7	1,888	0,055
14.06.2015	0:46:07	11,5	17,2	-4,7	1,904	0,054
14.06.2015	0:51:07	11,8	17,2	-4,7	1,856	0,056
14.06.2015	0:56:07	11,7	17,2	-4,7	1,872	0,055
14.06.2015	1:01:07	11,8	17,2	-4,6	1,847	0,056
14.06.2015	1:06:07	11,5	17,2	-4,6	1,896	0,055
14.06.2015	1:11:07	11,5	17,2	-4,6	1,896	0,055
14.06.2015	1:16:07	11,5	17,2	-4,6	1,896	0,055
14.06.2015	1:21:07	11,6	17,2	-4,6	1,879	0,055
14.06.2015	1:26:07	11,5	17,2	-4,6	1,896	0,055
14.06.2015	1:31:07	11,3	17,2	-4,6	1,929	0,054
14.06.2015	1:36:07	11,8	17,2	-4,5	1,839	0,056
14.06.2015	1:41:07	11,5	17,1	-4,6	1,887	0,055
14.06.2015	1:46:07	11,7	17,1	-4,5	1,846	0,056
14.06.2015	1:51:07	11,5	17,1	-4,5	1,878	0,055
14.06.2015	1:56:07	11,3	17,1	-4,5	1,912	0,054
14.06.2015	2:01:07	11,5	17,1	-4,5	1,878	0,055
14.06.2015	2:06:07	11,5	17,2	-4,5	1,887	0,055
14.06.2015	2:11:07	11,5	17,2	-4,5	1,887	0,055
14.06.2015	2:16:07	11,2	17,2	-4,5	1,938	0,053
14.06.2015	2:21:07	11,9	17,2	-4,4	1,815	0,057
14.06.2015	2:26:07	11,2	17,2	-4,4	1,929	0,054
14.06.2015	2:31:07	11,1	17,2	-4,4	1,946	0,053
14.06.2015	2:36:07	11,4	17,2	-4,4	1,895	0,055
14.06.2015	2:41:07	11,5	17,2	-4,4	1,878	0,055
14.06.2015	2:46:07	11,1	17,2	-4,4	1,946	0,053
14.06.2015	2:51:07	11,2	17,2	-4,4	1,929	0,054
14.06.2015	2:56:07	11,4	17,2	-4,3	1,886	0,055
14.06.2015	3:01:07	11,4	17,2	-4,3	1,886	0,055
14.06.2015	3:06:07	11,3	17,2	-4,3	1,903	0,054
14.06.2015	3:11:07	11,3	17,2	-4,3	1,903	0,054
14.06.2015	3:16:07	11,6	17,2	-4,3	1,853	0,056
14.06.2015	3:21:07	11,1	17,2	-4,3	1,937	0,053
14.06.2015	3:26:07	11,0	17,2	-4,3	1,955	0,053
14.06.2015	3:31:07	11,5	17,2	-4,3	1,870	0,055
14.06.2015	3:36:07	11,4	17,2	-4,3	1,886	0,055
14.06.2015	3:41:07	11,4	17,2	-4,2	1,877	0,055
14.06.2015	3:46:07	11,1	17,2	-4,2	1,928	0,054
14.06.2015	3:51:07	10,9	17,2	-4,2	1,963	0,053
14.06.2015	3:56:07	11,4	17,2	-4,2	1,877	0,055
14.06.2015	4:01:07	11,0	17,2	-4,2	1,945	0,053
14.06.2015	4:06:07	11,1	17,2	-4,2	1,928	0,054
14.06.2015	4:11:07	11,1	17,2	-4,2	1,928	0,054
14.06.2015	4:16:07	10,8	17,2	-4,2	1,981	0,052
14.06.2015	4:21:07	11,2	17,2	-4,2	1,911	0,054
14.06.2015	4:26:07	11,1	17,2	-4,2	1,928	0,054
14.06.2015	4:31:07	11,2	17,2	-4,2	1,911	0,054
14.06.2015	4:36:07	10,8	17,2	-4,2	1,981	0,052

14.06.2015	4:41:07	10,8	17,1	-4,2	1,972	0,052
14.06.2015	4:46:07	10,8	17,1	-4,2	1,972	0,052
14.06.2015	4:51:07	11,1	17,1	-4,2	1,919	0,054
14.06.2015	4:56:07	11,1	17,1	-4,2	1,919	0,054
14.06.2015	5:01:07	10,7	17,2	-4,2	2,000	0,052
14.06.2015	5:06:07	11,0	17,1	-4,1	1,927	0,054
14.06.2015	5:11:07	11,0	17,1	-4,1	1,927	0,054
14.06.2015	5:16:07	10,8	17,1	-4,1	1,963	0,053
14.06.2015	5:21:07	11,5	17,1	-4,1	1,843	0,056
14.06.2015	5:26:07	10,8	17,1	-4,1	1,963	0,053
14.06.2015	5:31:07	11,1	17,1	-4,1	1,910	0,054
14.06.2015	5:36:07	10,8	17,1	-4,1	1,963	0,053
14.06.2015	5:41:07	11,1	17,1	-4,1	1,910	0,054
14.06.2015	5:46:07	11,5	17,1	-4,1	1,843	0,056
14.06.2015	5:51:07	11,1	17,2	-4,0	1,910	0,054
14.06.2015	5:56:07	11,1	17,2	-4,0	1,910	0,054
14.06.2015	6:01:07	10,9	17,2	-4,0	1,945	0,053
14.06.2015	6:06:07	11,0	17,2	-4,0	1,927	0,054
14.06.2015	6:11:07	11,1	17,1	-4,0	1,901	0,055
14.06.2015	6:16:07	11,0	17,1	-4,0	1,918	0,054
14.06.2015	6:21:07	10,8	17,1	-4,0	1,954	0,053
14.06.2015	6:26:07	11	17,1	-4	1,918	0,054
14.06.2015	6:31:07	10,8	17,1	-4,0	1,954	0,053
14.06.2015	6:36:07	10,8	17,2	-4,0	1,963	0,053
14.06.2015	6:41:07	10,7	17,2	-4,0	1,981	0,052
14.06.2015	6:46:07	11,0	17,2	-4,0	1,927	0,054
14.06.2015	6:51:07	11,0	17,2	-4,0	1,927	0,054
14.06.2015	6:56:07	10,8	17,2	-4,0	1,963	0,053
14.06.2015	7:01:07	10,6	17,2	-4,0	2,000	0,052
14.06.2015	7:06:07	10,9	17,2	-4,0	1,945	0,053
14.06.2015	7:11:07	10,8	17,2	-3,9	1,954	0,053
14.06.2015	7:16:07	10,8	17,2	-3,9	1,954	0,053
14.06.2015	7:21:07	11,0	17,2	-3,9	1,918	0,054
14.06.2015	7:26:07	10,8	17,2	-3,9	1,954	0,053
					Průměrná hodnota	
					1,922	0,054

Číslo měření:	3	Objemová hmotnost:	100	kg.m <sup>-3</sup>	Výsledky měření	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr		
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
01.08.2015	12:41:36	11,1	18,6	-5,9	2,207	0,047
01.08.2015	12:45:36	11,4	18,6	-5,9	2,149	0,048
01.08.2015	12:49:36	11,7	18,6	-5,9	2,094	0,049

01.08.2015	12:53:36	11,7	18,5	-5,9	2,085	0,050
01.08.2015	12:57:36	11,7	18,5	-5,9	2,085	0,050
01.08.2015	13:01:36	11,9	18,5	-5,8	2,042	0,051
01.08.2015	13:05:36	12,0	18,5	-5,8	2,025	0,051
01.08.2015	13:09:36	12,0	18,4	-5,8	2,017	0,051
01.08.2015	13:13:36	12,0	18,4	-5,8	2,017	0,051
01.08.2015	13:17:36	12,1	18,4	-5,8	2,000	0,052
01.08.2015	13:21:36	12,5	18,4	-5,8	1,936	0,053
01.08.2015	13:25:36	12,2	18,4	-5,8	1,984	0,052
01.08.2015	13:29:36	12,6	18,4	-5,8	1,921	0,054
01.08.2015	13:33:36	12,5	18,4	-5,8	1,936	0,053
01.08.2015	13:37:36	12,8	18,4	-5,7	1,883	0,055
01.08.2015	13:41:36	12,7	18,4	-5,7	1,898	0,055
01.08.2015	13:45:36	13,0	18,4	-5,7	1,854	0,056
01.08.2015	13:49:36	12,5	18,3	-5,7	1,920	0,054
01.08.2015	13:53:36	12,8	18,3	-5,7	1,875	0,055
01.08.2015	13:57:36	12,8	18,3	-5,7	1,875	0,055
01.08.2015	14:01:36	12,8	18,3	-5,7	1,875	0,055
01.08.2015	14:05:36	13,0	18,3	-5,6	1,838	0,056
01.08.2015	14:09:36	12,9	18,3	-5,6	1,853	0,056
01.08.2015	14:13:36	12,9	18,3	-5,6	1,853	0,056
01.08.2015	14:17:36	13,2	18,3	-5,5	1,803	0,058
01.08.2015	14:21:36	13,1	18,3	-5,5	1,817	0,057
01.08.2015	14:25:36	12,9	18,3	-5,5	1,845	0,056
01.08.2015	14:29:36	12,9	18,3	-5,5	1,845	0,056
01.08.2015	14:33:36	13,1	18,3	-5,5	1,817	0,057
01.08.2015	14:37:36	13,1	18,3	-5,5	1,817	0,057
01.08.2015	14:41:36	13,2	18,3	-5,4	1,795	0,058
01.08.2015	14:45:36	12,9	18,3	-5,4	1,837	0,056
01.08.2015	14:49:36	13,3	18,3	-5,4	1,782	0,058
01.08.2015	14:53:36	13,3	18,3	-5,4	1,782	0,058
01.08.2015	14:57:36	13,0	18,3	-5,4	1,823	0,057
01.08.2015	15:01:36	13,1	18,3	-5,4	1,809	0,057
01.08.2015	15:05:36	13,3	18,3	-5,3	1,774	0,059
01.08.2015	15:09:36	13,3	18,3	-5,3	1,774	0,059
01.08.2015	15:13:36	13,0	18,3	-5,3	1,815	0,057
01.08.2015	15:17:36	13,0	18,3	-5,3	1,815	0,057
01.08.2015	15:21:36	13,1	18,3	-5,3	1,802	0,058
01.08.2015	15:25:36	14,2	18,4	-5,2	1,662	0,063
01.08.2015	15:27:06	14,1	18,4	-5,2	1,674	0,062
					Průměrná hodnota	
					1,891	0,055

ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr		
Číslo měření:	4	Objemová hmotnost:		100	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					

	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
03.08.2015	6:07:50	13,7	17,7	-7,2	1,818	0,057
03.08.2015	6:11:50	13,5	17,7	-7,1	1,837	0,056
03.08.2015	6:15:50	13,3	17,7	-7,1	1,865	0,056
03.08.2015	6:19:50	14,0	17,7	-7,1	1,771	0,059
03.08.2015	6:23:50	13,6	17,7	-7,1	1,824	0,057
03.08.2015	6:27:50	13,4	17,7	-7,1	1,851	0,056
03.08.2015	6:31:50	13,7	17,7	-7,1	1,810	0,057
03.08.2015	6:35:50	13,6	17,7	-7,1	1,824	0,057
03.08.2015	6:39:50	13,5	17,7	-7,0	1,830	0,057
03.08.2015	6:43:50	13,3	17,7	-7,0	1,857	0,056
03.08.2015	6:47:50	13,3	17,7	-7,0	1,857	0,056
03.08.2015	6:51:50	13,3	17,7	-7,0	1,857	0,056
03.08.2015	6:55:50	13,6	17,7	-7,0	1,816	0,057
03.08.2015	6:59:50	13,5	17,7	-7,0	1,830	0,057
03.08.2015	7:03:50	13,6	17,7	-7,0	1,816	0,057
03.08.2015	7:07:50	13,7	17,7	-7,0	1,803	0,058
03.08.2015	7:11:50	13,7	17,7	-6,9	1,796	0,058
03.08.2015	7:15:50	13,7	17,7	-6,9	1,796	0,058
03.08.2015	7:19:50	13,5	17,7	-6,9	1,822	0,057
03.08.2015	7:23:50	13,4	17,7	-6,9	1,836	0,057
03.08.2015	7:27:50	13,5	17,7	-6,9	1,822	0,057
03.08.2015	7:31:50	13,6	17,7	-6,9	1,809	0,057
03.08.2015	7:35:50	13,1	17,7	-6,9	1,878	0,055
03.08.2015	7:39:50	13,3	17,7	-6,9	1,850	0,056
03.08.2015	7:43:50	13,3	17,7	-6,9	1,850	0,056
03.08.2015	7:47:50	13,7	17,7	-6,9	1,796	0,058
03.08.2015	7:51:50	13,4	17,7	-6,9	1,836	0,057
03.08.2015	7:55:50	13,2	17,8	-6,8	1,864	0,056
03.08.2015	7:59:50	13,4	17,8	-6,8	1,836	0,057
03.08.2015	8:03:50	13,4	17,8	-6,8	1,836	0,057
03.08.2015	8:07:50	13,6	17,8	-6,8	1,809	0,057
03.08.2015	8:11:50	13,4	17,8	-6,8	1,836	0,057
03.08.2015	8:15:50	13,2	17,8	-6,8	1,864	0,056
03.08.2015	8:19:50	13,3	17,8	-6,8	1,850	0,056
03.08.2015	8:23:50	13,3	17,8	-6,8	1,850	0,056
03.08.2015	8:27:50	13,5	17,8	-6,7	1,815	0,057
03.08.2015	8:30:45	13,4	17,8	-6,7	1,828	0,057
					Průměrná hodnota	
					1,831	0,057

Číslo měření:	1	Objemová hmotnost:		110	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
12.02.2015	10:34:31	12,4	19,5	-6,4	2,089	0,049
12.02.2015	10:39:31	13,3	19,5	-6,4	1,947	0,053
12.02.2015	10:44:31	13,5	19,5	-6,3	1,911	0,054
12.02.2015	10:49:31	13,3	19,5	-6,3	1,940	0,053
12.02.2015	10:54:31	13,6	19,5	-6,3	1,897	0,055
12.02.2015	10:59:31	13,7	19,4	-6,3	1,876	0,055
12.02.2015	11:04:31	13,4	19,4	-6,3	1,918	0,054
12.02.2015	11:09:31	13,7	19,4	-6,3	1,876	0,055
12.02.2015	11:14:31	13,7	19,4	-6,3	1,876	0,055
12.02.2015	11:19:31	13,8	19,4	-6,2	1,855	0,056
12.02.2015	11:24:31	13,8	19,4	-6,2	1,855	0,056
12.02.2015	11:29:31	13,7	19,3	-6,2	1,861	0,056
12.02.2015	11:34:31	14,1	19,3	-6,2	1,809	0,057
12.02.2015	11:39:31	13,9	19,3	-6,1	1,827	0,057
12.02.2015	11:44:31	14,0	19,3	-6,1	1,814	0,057
12.02.2015	11:49:31	13,9	19,3	-6,1	1,827	0,057
12.02.2015	11:54:31	14,0	19,3	-6,1	1,814	0,057
12.02.2015	11:59:31	14,0	19,3	-6,0	1,807	0,057
12.02.2015	12:04:31	13,7	19,2	-6,0	1,839	0,056
12.02.2015	12:09:31	13,7	19,2	-6,0	1,839	0,056
12.02.2015	12:14:31	13,8	19,2	-6,0	1,826	0,057
12.02.2015	12:19:31	14,1	19,2	-6,0	1,787	0,058
12.02.2015	12:24:31	13,7	19,2	-5,9	1,832	0,057
12.02.2015	12:29:31	14,1	19,2	-5,9	1,780	0,058
12.02.2015	12:34:31	14,1	19,2	-5,9	1,780	0,058
12.02.2015	12:39:31	13,7	19,2	-5,8	1,825	0,057
12.02.2015	12:44:31	14,2	19,2	-5,8	1,761	0,059
12.02.2015	12:49:31	14,0	19,1	-5,8	1,779	0,058
12.02.2015	12:54:31	13,7	19,1	-5,8	1,818	0,057
12.02.2015	12:59:31	14,0	19,1	-5,8	1,779	0,058
12.02.2015	13:04:31	14,2	19,1	-5,8	1,754	0,059
12.02.2015	13:09:31	14,3	19,1	-5,7	1,734	0,060
12.02.2015	13:14:31	13,9	19,1	-5,7	1,784	0,058
12.02.2015	13:19:31	14,1	19,1	-5,7	1,759	0,059
12.02.2015	13:24:31	14,0	19,1	-5,7	1,771	0,059
12.02.2015	13:29:31	14,1	19,1	-5,7	1,759	0,059
12.02.2015	13:34:31	14,3	19,1	-5,6	1,727	0,060
12.02.2015	13:39:31	14,1	19,1	-5,6	1,752	0,059
12.02.2015	13:44:31	14,0	19,1	-5,6	1,764	0,059
12.02.2015	13:49:31	13,9	19,1	-5,6	1,777	0,058
12.02.2015	13:54:31	13,9	19,1	-5,5	1,770	0,059

12.02.2015	13:59:31	13,7	19,1	-5,5	1,796	0,058
12.02.2015	14:04:31	14,0	19,1	-5,5	1,757	0,059
12.02.2015	14:09:31	14,2	19,1	-5,5	1,732	0,060
12.02.2015	14:14:31	14,1	19,1	-5,5	1,745	0,060
12.02.2015	14:19:31	14,0	19,1	-5,4	1,750	0,059
12.02.2015	14:24:31	14,0	19,1	-5,4	1,750	0,059
12.02.2015	14:29:31	13,9	19,1	-5,4	1,763	0,059
12.02.2015	14:34:31	13,9	19,1	-5,4	1,763	0,059
12.02.2015	14:39:31	14,1	19,1	-5,3	1,730	0,060
12.02.2015	14:44:31	14,0	19,1	-5,3	1,743	0,060
12.02.2015	14:49:31	13,9	19,1	-5,3	1,755	0,059
12.02.2015	14:54:31	13,8	19,1	-5,3	1,768	0,059
12.02.2015	14:59:31	13,8	19,1	-5,3	1,768	0,059
12.02.2015	15:04:31	13,8	19,1	-5,3	1,768	0,059
12.02.2015	15:09:31	14,6	19,1	-5,2	1,664	0,063
12.02.2015	15:14:31	14,4	19,1	-5,2	1,688	0,062
12.02.2015	15:19:31	13,8	19,1	-5,2	1,761	0,059
12.02.2015	15:24:31	14,0	19,1	-5,2	1,736	0,060
12.02.2015	15:29:31	13,8	19,1	-5,2	1,761	0,059
12.02.2015	15:34:31	13,9	19,1	-5,1	1,741	0,060
12.02.2015	15:39:31	14,0	19,1	-5,1	1,729	0,060
12.02.2015	15:44:31	14,0	19,1	-5,1	1,729	0,060
12.02.2015	15:49:31	13,8	19,1	-5,0	1,746	0,060
12.02.2015	15:54:31	13,5	19,1	-5,0	1,785	0,058
12.02.2015	15:59:31	13,9	19,1	-5,0	1,734	0,060
12.02.2015	16:04:31	13,7	19,1	-5,0	1,759	0,059
12.02.2015	16:09:31	13,6	19,1	-5,0	1,772	0,059
12.02.2015	16:14:31	13,7	19,1	-4,9	1,752	0,059
12.02.2015	16:19:31	13,9	19,1	-4,9	1,727	0,060
12.02.2015	16:24:31	13,6	19,1	-4,9	1,765	0,059
12.02.2015	16:29:31	13,6	19,1	-4,9	1,765	0,059
12.02.2015	16:34:31	14,2	19,1	-4,9	1,690	0,062
12.02.2015	16:39:31	13,7	19,1	-4,8	1,745	0,060
12.02.2015	16:44:31	13,8	19,1	-4,8	1,732	0,060
12.02.2015	16:49:31	14,0	19,1	-4,8	1,707	0,061
12.02.2015	16:54:31	13,6	19,1	-4,8	1,757	0,059
12.02.2015	16:59:31	13,5	19,1	-4,8	1,770	0,059
12.02.2015	17:04:31	13,6	19,1	-4,7	1,750	0,059
12.02.2015	17:09:31	13,7	19,1	-4,7	1,737	0,060
12.02.2015	17:14:31	13,8	19,1	-4,7	1,725	0,060
12.02.2015	17:19:31	13,5	19,1	-4,7	1,763	0,059
12.02.2015	17:24:31	13,5	19,1	-4,7	1,763	0,059
12.02.2015	17:29:31	13,7	19,0	-4,7	1,730	0,060
12.02.2015	17:34:31	13,7	19,0	-4,7	1,730	0,060
12.02.2015	17:39:31	13,7	19,0	-4,7	1,730	0,060
12.02.2015	17:44:31	13,5	19,1	-4,6	1,756	0,059
12.02.2015	17:49:31	13,4	19,0	-4,6	1,761	0,059
					Průměrná hodnota	
					1,782	0,058



Číslo měření:	2	Objemová hmotnost:		110	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
03.08.2016	17:52:29	11,1	18,9	-3,0	1,973	0,051
03.08.2016	17:56:29	11,1	18,8	-3,0	1,964	0,051
03.08.2016	18:00:29	11,1	18,8	-2,9	1,955	0,051
03.08.2016	18:04:29	11,5	18,8	-2,9	1,887	0,053
03.08.2016	18:08:29	11,5	18,8	-2,9	1,887	0,053
03.08.2016	18:12:29	11,4	18,7	-2,9	1,895	0,053
03.08.2016	18:16:29	11,5	18,7	-2,9	1,878	0,053
03.08.2016	18:20:29	11,7	18,7	-2,8	1,838	0,054
03.08.2016	18:24:29	11,8	18,7	-2,8	1,822	0,055
03.08.2016	18:28:29	12,1	18,7	-2,8	1,777	0,056
03.08.2016	18:32:29	11,9	18,7	-2,8	1,807	0,055
03.08.2016	18:36:29	12,0	18,6	-2,8	1,783	0,056
03.08.2016	18:40:29	11,9	18,6	-2,7	1,790	0,056
03.08.2016	18:44:29	12,0	18,6	-2,7	1,775	0,056
03.08.2016	18:48:29	12,6	18,6	-2,7	1,690	0,059
03.08.2016	18:52:29	12,2	18,6	-2,7	1,746	0,057
03.08.2016	18:56:29	12,0	18,6	-2,6	1,767	0,057
03.08.2016	19:00:29	12,1	18,6	-2,6	1,752	0,057
03.08.2016	19:04:29	12,0	18,6	-2,6	1,767	0,057
03.08.2016	19:08:29	12,4	18,6	-2,6	1,710	0,058
03.08.2016	19:12:29	12,4	18,5	-2,6	1,702	0,059
03.08.2016	19:16:29	12,2	18,5	-2,6	1,730	0,058
03.08.2016	19:20:29	12,2	18,5	-2,5	1,721	0,058
03.08.2016	19:24:29	12,2	18,5	-2,5	1,721	0,058
03.08.2016	19:28:29	12,2	18,5	-2,5	1,721	0,058
03.08.2016	19:32:29	12,6	18,5	-2,5	1,667	0,060
03.08.2016	19:36:29	12,6	18,5	-2,4	1,659	0,060
03.08.2016	19:40:29	12,4	18,5	-2,4	1,685	0,059
03.08.2016	19:44:29	12,3	18,5	-2,4	1,699	0,059
03.08.2016	19:48:29	12,6	18,5	-2,4	1,659	0,060
03.08.2016	19:52:29	12,6	18,5	-2,3	1,651	0,061
03.08.2016	19:56:29	12,8	18,5	-2,3	1,625	0,062
03.08.2016	20:00:29	12,5	18,5	-2,3	1,664	0,060
03.08.2016	20:04:29	12,3	18,5	-2,3	1,691	0,059
03.08.2016	20:08:29	12,8	18,4	-2,2	1,609	0,062
03.08.2016	20:12:29	12,4	18,4	-2,2	1,661	0,060
03.08.2016	20:16:29	12,8	18,5	-2,2	1,617	0,062
03.08.2016	20:20:29	12,5	18,4	-2,2	1,648	0,061
03.08.2016	20:24:29	12,5	18,4	-2,2	1,648	0,061
03.08.2016	20:28:29	12,5	18,4	-2,1	1,640	0,061

03.08.2016	20:32:29	12,9	18,4	-2,1	1,589	0,063
03.08.2016	20:36:29	12,6	18,4	-2,1	1,627	0,061
03.08.2016	20:40:29	12,8	18,4	-2,0	1,594	0,063
03.08.2016	20:44:29	12,3	18,4	-2,0	1,659	0,060
03.08.2016	20:48:29	12,5	18,4	-2,0	1,632	0,061
03.08.2016	20:52:29	12,7	18,4	-2,0	1,606	0,062
03.08.2016	20:56:29	12,6	18,4	-2,0	1,619	0,062
03.08.2016	21:00:29	12,6	18,4	-2,0	1,619	0,062
03.08.2016	21:04:29	12,5	18,4	-1,9	1,624	0,062
03.08.2016	21:08:29	12,4	18,4	-1,9	1,637	0,061
03.08.2016	21:12:29	12,6	18,4	-1,9	1,611	0,062
03.08.2016	21:16:29	12,6	18,4	-1,9	1,611	0,062
03.08.2016	21:20:29	12,8	18,4	-1,8	1,578	0,063
03.08.2016	21:24:29	12,9	18,4	-1,8	1,566	0,064
03.08.2016	21:28:29	12,5	18,4	-1,8	1,616	0,062
03.08.2016	21:32:29	12,6	18,4	-1,8	1,603	0,062
03.08.2016	21:36:29	12,8	18,4	-1,8	1,578	0,063
03.08.2016	21:40:29	12,4	18,4	-1,8	1,629	0,061
03.08.2016	21:44:29	12,6	18,4	-1,7	1,595	0,063
03.08.2016	21:48:29	12,6	18,4	-1,7	1,595	0,063
03.08.2016	21:52:29	12,7	18,4	-1,7	1,583	0,063
03.08.2016	21:56:29	12,6	18,4	-1,7	1,595	0,063
03.08.2016	22:00:29	12,7	18,5	-1,6	1,583	0,063
03.08.2016	22:04:29	12,7	18,5	-1,6	1,583	0,063
03.08.2016	22:08:29	12,2	18,4	-1,6	1,639	0,061
03.08.2016	22:12:29	12,6	18,5	-1,6	1,595	0,063
03.08.2016	22:16:29	12,2	18,5	-1,6	1,648	0,061
03.08.2016	22:20:29	12,4	18,5	-1,6	1,621	0,062
03.08.2016	22:24:29	12,6	18,5	-1,5	1,587	0,063
03.08.2016	22:28:29	12,3	18,5	-1,5	1,626	0,062
03.08.2016	22:32:29	12,4	18,5	-1,5	1,613	0,062
03.08.2016	22:36:29	12,5	18,5	-1,5	1,600	0,063
03.08.2016	22:40:29	12,4	18,5	-1,4	1,605	0,062
03.08.2016	22:44:29	12,3	18,5	-1,4	1,618	0,062
03.08.2016	22:48:29	12,4	18,5	-1,4	1,605	0,062
03.08.2016	22:52:29	12,5	18,5	-1,4	1,592	0,063
03.08.2016	22:56:29	12,6	18,5	-1,4	1,579	0,063
03.08.2016	23:00:29	12,3	18,5	-1,4	1,618	0,062
03.08.2016	23:04:29	12,5	18,5	-1,3	1,584	0,063
03.08.2016	23:08:29	13,2	18,5	-1,3	1,500	0,067
03.08.2016	23:12:29	12,3	18,5	-1,3	1,610	0,062
03.08.2016	23:16:29	12,6	18,5	-1,3	1,571	0,064
03.08.2016	23:20:29	12,4	18,5	-1,3	1,597	0,063
03.08.2016	23:24:29	12,1	18,5	-1,2	1,628	0,061
03.08.2016	23:28:29	12,1	18,5	-1,2	1,628	0,061
03.08.2016	23:32:29	12,5	18,5	-1,2	1,576	0,063
03.08.2016	23:36:29	12,2	18,5	-1,2	1,615	0,062
03.08.2016	23:40:29	12,4	18,5	-1,2	1,589	0,063
03.08.2016	23:44:29	12,2	18,5	-1,2	1,615	0,062

03.08.2016	23:48:29	12,2	18,5	-1,2	1,615	0,062
03.08.2016	23:52:29	12,6	18,5	-1,1	1,556	0,064
03.08.2016	23:56:29	12,2	18,5	-1,1	1,607	0,062
04.08.2016	0:00:29	12,0	18,5	-1,1	1,633	0,061
04.08.2016	0:04:29	12,0	18,5	-1,1	1,633	0,061
04.08.2016	0:08:29	12,0	18,5	-1,1	1,633	0,061
04.08.2016	0:12:29	12,1	18,5	-1,1	1,620	0,062
04.08.2016	0:16:29	12,0	18,5	-1,0	1,625	0,062
04.08.2016	0:20:29	12,2	18,5	-1,0	1,598	0,063
04.08.2016	0:24:29	11,9	18,5	-1,0	1,639	0,061
04.08.2016	0:28:29	12,2	18,5	-1,0	1,598	0,063
04.08.2016	0:32:29	11,9	18,5	-1,0	1,639	0,061
04.08.2016	0:36:29	12,4	18,5	-1,0	1,573	0,064
04.08.2016	0:40:29	12,0	18,5	-1,0	1,625	0,062
04.08.2016	0:44:29	12,0	18,5	-0,9	1,617	0,062
04.08.2016	0:48:29	12,6	18,5	-0,9	1,540	0,065
04.08.2016	0:52:29	12,0	18,5	-0,9	1,617	0,062
04.08.2016	0:56:29	12,0	18,5	-0,9	1,617	0,062
04.08.2016	1:00:29	12,2	18,6	-0,9	1,598	0,063
04.08.2016	1:04:29	12,0	18,6	-0,9	1,625	0,062
04.08.2016	1:08:29	11,9	18,6	-0,9	1,639	0,061
04.08.2016	1:12:29	12,2	18,6	-0,8	1,590	0,063
04.08.2016	1:16:29	11,9	18,6	-0,8	1,630	0,061
04.08.2016	1:20:29	11,9	18,6	-0,8	1,630	0,061
04.08.2016	1:24:29	12,0	18,6	-0,8	1,617	0,062
04.08.2016	1:28:29	12,0	18,6	-0,8	1,617	0,062
04.08.2016	1:32:29	11,9	18,6	-0,7	1,622	0,062
04.08.2016	1:36:29	12,1	18,6	-0,7	1,595	0,063
04.08.2016	1:40:29	12,6	18,6	-0,7	1,532	0,065
04.08.2016	1:44:29	12,0	18,6	-0,7	1,608	0,062
04.08.2016	1:48:29	11,8	18,6	-0,7	1,636	0,061
04.08.2016	1:52:29	11,9	18,6	-0,7	1,622	0,062
04.08.2016	1:56:29	11,9	18,6	-0,7	1,622	0,062
04.08.2016	2:00:29	12,0	18,6	-0,6	1,600	0,063
04.08.2016	2:04:29	12,0	18,6	-0,6	1,600	0,063
04.08.2016	2:08:29	11,7	18,6	-0,6	1,641	0,061
04.08.2016	2:12:29	11,9	18,6	-0,6	1,613	0,062
04.08.2016	2:16:29	12,0	18,6	-0,6	1,600	0,063
04.08.2016	2:20:29	11,7	18,6	-0,6	1,641	0,061
04.08.2016	2:24:29	11,9	18,6	-0,6	1,613	0,062
04.08.2016	2:28:29	11,7	18,6	-0,6	1,641	0,061
04.08.2016	2:32:29	12,0	18,6	-0,6	1,600	0,063
04.08.2016	2:36:29	11,9	18,6	-0,5	1,605	0,062
04.08.2016	2:40:29	11,5	18,6	-0,5	1,661	0,060
04.08.2016	2:44:29	11,8	18,6	-0,5	1,619	0,062
04.08.2016	2:48:29	11,7	18,6	-0,5	1,632	0,061
04.08.2016	2:52:29	11,9	18,6	-0,5	1,605	0,062
04.08.2016	2:56:29	11,6	18,6	-0,5	1,647	0,061
04.08.2016	3:00:29	12,6	18,6	-0,5	1,516	0,066

04.08.2016	3:04:29	12,0	18,6	-0,5	1,592	0,063
04.08.2016	3:08:29	12,0	18,7	-0,5	1,600	0,063
04.08.2016	3:12:29	11,6	18,6	-0,5	1,647	0,061
04.08.2016	3:16:29	11,7	18,7	-0,4	1,632	0,061
04.08.2016	3:20:29	11,5	18,7	-0,4	1,661	0,060
04.08.2016	3:24:29	11,7	18,7	-0,4	1,632	0,061
04.08.2016	3:28:29	11,8	18,7	-0,4	1,619	0,062
04.08.2016	3:32:29	11,8	18,7	-0,4	1,619	0,062
04.08.2016	3:36:29	11,7	18,7	-0,4	1,632	0,061
04.08.2016	3:40:29	12,0	18,7	-0,4	1,592	0,063
04.08.2016	3:44:29	11,7	18,7	-0,4	1,632	0,061
04.08.2016	3:48:29	11,8	18,7	-0,3	1,610	0,062
04.08.2016	3:52:29	12,0	18,7	-0,3	1,583	0,063
04.08.2016	3:56:29	11,9	18,7	-0,2	1,588	0,063
04.08.2016	4:00:29	11,6	18,7	-0,2	1,629	0,061
04.08.2016	4:04:29	11,6	18,7	-0,1	1,621	0,062
04.08.2016	4:08:29	11,8	18,7	-0,1	1,593	0,063
04.08.2016	4:12:29	11,4	18,7	0,0	1,640	0,061
04.08.2016	4:16:29	11,8	18,7	0,0	1,585	0,063
04.08.2016	4:20:29	11,5	18,7	0,0	1,626	0,061
04.08.2016	4:24:29	11,6	18,7	0,0	1,612	0,062
04.08.2016	4:28:29	12,2	18,7	0,0	1,533	0,065
04.08.2016	4:32:29	11,5	18,7	0,1	1,617	0,062
04.08.2016	4:36:29	11,7	18,7	0,1	1,590	0,063
04.08.2016	4:40:29	11,5	18,7	0,1	1,617	0,062
04.08.2016	4:44:29	11,7	18,7	0,1	1,590	0,063
04.08.2016	4:48:29	11,7	18,7	0,1	1,590	0,063
04.08.2016	4:52:29	11,5	18,7	0,1	1,617	0,062
04.08.2016	4:56:29	11,5	18,7	0,2	1,609	0,062
04.08.2016	5:00:29	11,5	18,7	0,2	1,609	0,062
04.08.2016	5:04:29	11,3	18,7	0,2	1,637	0,061
04.08.2016	5:08:29	11,5	18,7	0,2	1,609	0,062
04.08.2016	5:12:29	12,0	18,7	0,2	1,542	0,065
04.08.2016	5:16:29	11,7	18,7	0,2	1,581	0,063
04.08.2016	5:20:29	11,3	18,7	0,3	1,628	0,061
04.08.2016	5:24:29	11,5	18,7	0,3	1,600	0,063
04.08.2016	5:28:29	11,6	18,7	0,2	1,595	0,063
04.08.2016	5:32:29	11,3	18,7	0,2	1,637	0,061
04.08.2016	5:36:29	11,7	18,7	0,2	1,581	0,063
04.08.2016	5:40:29	11,4	18,8	0,2	1,632	0,061
04.08.2016	5:44:29	11,3	18,8	0,2	1,646	0,061
04.08.2016	5:48:29	11,6	18,8	0,2	1,603	0,062
04.08.2016	5:52:29	11,8	18,8	0,2	1,576	0,063
04.08.2016	5:56:29	11,3	18,8	0,3	1,637	0,061
04.08.2016	6:00:29	11,4	18,8	0,3	1,623	0,062
04.08.2016	6:04:29	11,5	18,8	0,4	1,600	0,063
04.08.2016	6:08:29	12,2	18,8	0,4	1,508	0,066
04.08.2016	6:12:29	11,7	18,8	0,4	1,573	0,064
04.08.2016	6:16:29	11,4	18,8	0,3	1,623	0,062

04.08.2016	6:20:29	11,3	18,8	0,3	1,637	0,061
04.08.2016	6:24:29	11,8	18,8	0,2	1,576	0,063
04.08.2016	6:28:29	11,4	18,8	0,2	1,632	0,061
04.08.2016	6:32:29	11,7	18,8	0,3	1,581	0,063
04.08.2016	6:36:29	11,7	18,8	0,3	1,581	0,063
04.08.2016	6:40:29	11,3	18,8	0,3	1,637	0,061
04.08.2016	6:44:29	11,4	18,8	0,3	1,623	0,062
04.08.2016	6:48:29	11,5	18,8	0,3	1,609	0,062
04.08.2016	6:52:29	11,5	18,8	0,3	1,609	0,062
04.08.2016	6:56:29	11,5	18,8	0,3	1,609	0,062
04.08.2016	7:00:29	11,2	18,8	0,4	1,643	0,061
04.08.2016	7:04:29	11,4	18,8	0,4	1,614	0,062
04.08.2016	7:08:29	11,2	18,8	0,4	1,643	0,061
04.08.2016	7:12:29	11,3	18,8	0,4	1,628	0,061
04.08.2016	7:16:29	11,5	18,8	0,5	1,591	0,063
04.08.2016	7:20:29	11,3	18,8	0,5	1,619	0,062
04.08.2016	7:24:29	11,3	18,8	0,4	1,628	0,061
04.08.2016	7:28:29	11,2	18,8	0,4	1,643	0,061
04.08.2016	7:32:29	11,7	18,8	0,4	1,573	0,064
04.08.2016	7:36:29	11,4	18,8	0,4	1,614	0,062
04.08.2016	7:40:29	11,2	18,8	0,4	1,643	0,061
04.08.2016	7:44:29	11,3	18,8	0,4	1,628	0,061
04.08.2016	7:48:29	11,4	18,9	0,4	1,623	0,062
04.08.2016	7:52:29	11,1	18,9	0,4	1,667	0,060
04.08.2016	7:56:29	11,4	18,9	0,4	1,623	0,062
04.08.2016	8:00:29	11,6	18,9	0,4	1,595	0,063
04.08.2016	8:04:29	11,4	18,9	0,4	1,623	0,062
04.08.2016	8:08:29	11,5	18,9	0,4	1,609	0,062
04.08.2016	8:12:29	11,5	18,9	0,4	1,609	0,062
04.08.2016	8:16:29	11,5	18,9	0,4	1,609	0,062
04.08.2016	8:20:29	11,3	18,9	0,4	1,637	0,061
04.08.2016	8:24:29	11,1	18,9	0,4	1,667	0,060
04.08.2016	8:28:29	11,6	18,9	0,4	1,595	0,063
04.08.2016	8:32:29	11,3	18,9	0,4	1,637	0,061
					Průměrná hodnota	
					1,635	0,061

Číslo měření:	3	Objemová hmotnost:		110	kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
29.06.2015	18:23:04	11,8	18,5	-6,9	2,153	0,048
29.06.2015	18:28:04	12,5	18,5	-6,9	2,032	0,051
29.06.2015	18:33:04	11,9	18,5	-6,8	2,126	0,049

29.06.2015	18:38:04	12,2	18,5	-6,8	2,074	0,050
29.06.2015	18:43:04	12,2	18,5	-6,8	2,074	0,050
29.06.2015	18:48:04	12,2	18,4	-6,7	2,057	0,050
29.06.2015	18:53:04	12,5	18,4	-6,7	2,008	0,052
29.06.2015	18:58:04	12,1	18,4	-6,7	2,074	0,050
29.06.2015	19:03:04	12,1	18,4	-6,6	2,066	0,050
29.06.2015	19:08:04	12,3	18,4	-6,6	2,033	0,051
29.06.2015	19:13:04	12,6	18,4	-6,6	1,984	0,052
29.06.2015	19:18:04	12,4	18,4	-6,5	2,008	0,052
29.06.2015	19:23:04	12,4	18,4	-6,5	2,008	0,052
29.06.2015	19:28:04	12,8	18,4	-6,5	1,945	0,053
29.06.2015	19:33:04	13,2	18,4	-6,4	1,879	0,055
29.06.2015	19:38:04	12,6	18,4	-6,4	1,968	0,053
29.06.2015	19:43:04	12,7	18,4	-6,4	1,953	0,053
29.06.2015	19:48:04	12,6	18,4	-6,3	1,960	0,053
29.06.2015	19:53:04	13,0	18,4	-6,3	1,900	0,055
29.06.2015	19:58:04	12,9	18,4	-6,3	1,915	0,054
29.06.2015	20:03:04	12,8	18,4	-6,2	1,922	0,054
29.06.2015	20:08:04	12,7	18,4	-6,2	1,937	0,053
29.06.2015	20:13:04	12,9	18,4	-6,2	1,907	0,054
29.06.2015	20:18:04	12,7	18,4	-6,1	1,929	0,054
29.06.2015	20:23:04	12,6	18,4	-6,1	1,944	0,053
29.06.2015	20:28:04	12,7	18,4	-6,0	1,921	0,054
29.06.2015	20:33:04	12,5	18,4	-6,0	1,952	0,053
29.06.2015	20:38:04	12,4	18,4	-6,0	1,968	0,053
29.06.2015	20:43:04	12,7	18,4	-5,9	1,913	0,054
29.06.2015	20:48:04	12,9	18,4	-5,9	1,884	0,055
29.06.2015	20:53:04	12,8	18,4	-5,9	1,898	0,055
29.06.2015	20:58:04	12,6	18,4	-5,8	1,921	0,054
29.06.2015	21:03:04	12,5	18,4	-5,8	1,936	0,053
29.06.2015	21:08:04	12,8	18,4	-5,8	1,891	0,055
29.06.2015	21:13:04	12,5	18,4	-5,7	1,928	0,054
29.06.2015	21:18:04	12,6	18,4	-5,7	1,913	0,054
29.06.2015	21:23:04	12,5	18,4	-5,7	1,928	0,054
29.06.2015	21:28:04	12,7	18,4	-5,6	1,890	0,055
29.06.2015	21:33:04	12,3	18,4	-5,6	1,951	0,053
29.06.2015	21:38:04	12,6	18,4	-5,5	1,897	0,055
29.06.2015	21:43:04	13,1	18,4	-5,5	1,824	0,057
29.06.2015	21:48:04	12,1	18,4	-5,5	1,975	0,052
29.06.2015	21:53:04	12,5	18,4	-5,4	1,904	0,054
29.06.2015	21:58:04	12,6	18,4	-5,4	1,889	0,055
29.06.2015	22:03:04	12,4	18,5	-5,4	1,927	0,054
29.06.2015	22:08:04	12,3	18,5	-5,4	1,943	0,053
29.06.2015	22:13:04	12,4	18,5	-5,3	1,919	0,054
29.06.2015	22:18:04	12,2	18,5	-5,3	1,951	0,053
29.06.2015	22:23:04	12,4	18,5	-5,3	1,919	0,054
29.06.2015	22:28:04	12,3	18,5	-5,2	1,927	0,054
29.06.2015	22:33:04	12,4	18,5	-5,2	1,911	0,054
29.06.2015	22:38:04	12,2	18,5	-5,2	1,943	0,053

29.06.2015	22:43:04	12,2	18,5	-5,2	1,943	0,053
29.06.2015	22:48:04	11,9	18,5	-5,1	1,983	0,052
29.06.2015	22:53:04	12,8	18,5	-5,1	1,844	0,056
29.06.2015	22:58:04	12,2	18,5	-5,1	1,934	0,054
29.06.2015	23:03:04	11,9	18,5	-5,0	1,975	0,052
29.06.2015	23:08:04	12,1	18,5	-5,0	1,942	0,053
29.06.2015	23:13:04	11,9	18,5	-5,0	1,975	0,052
29.06.2015	23:18:04	12,0	18,5	-5,0	1,958	0,053
29.06.2015	23:23:04	12,0	18,5	-4,9	1,950	0,053
29.06.2015	23:28:04	11,9	18,5	-4,9	1,966	0,053
29.06.2015	23:33:04	11,9	18,5	-4,9	1,966	0,053
29.06.2015	23:38:04	12,2	18,5	-4,9	1,918	0,054
29.06.2015	23:43:04	12,1	18,5	-4,9	1,934	0,054
29.06.2015	23:48:04	11,7	18,5	-4,8	1,991	0,052
29.06.2015	23:53:04	12,0	18,5	-4,8	1,942	0,053
29.06.2015	23:58:04	12,0	18,5	-4,8	1,942	0,053
30.06.2015	0:03:04	12,2	18,5	-4,8	1,910	0,054
30.06.2015	0:08:04	12,3	18,5	-4,7	1,886	0,055
30.06.2015	0:13:04	12,0	18,5	-4,7	1,933	0,054
30.06.2015	0:18:04	12,0	18,5	-4,7	1,933	0,054
30.06.2015	0:23:04	11,9	18,5	-4,7	1,950	0,053
30.06.2015	0:28:04	11,8	18,5	-4,7	1,966	0,053
30.06.2015	0:33:04	11,5	18,5	-4,6	2,009	0,051
30.06.2015	0:38:04	11,6	18,5	-4,6	1,991	0,052
30.06.2015	0:43:04	11,8	18,5	-4,6	1,958	0,053
30.06.2015	0:48:04	11,9	18,5	-4,6	1,941	0,053
30.06.2015	0:53:04	12,0	18,5	-4,6	1,925	0,054
30.06.2015	0:58:04	11,9	18,5	-4,5	1,933	0,054
30.06.2015	1:03:04	11,6	18,5	-4,5	1,983	0,052
30.06.2015	1:08:04	11,5	18,5	-4,5	2,000	0,052
30.06.2015	1:13:04	12,1	18,5	-4,5	1,901	0,055
30.06.2015	1:18:04	11,6	18,5	-4,5	1,983	0,052
30.06.2015	1:23:04	11,7	18,5	-4,4	1,957	0,053
30.06.2015	1:28:04	11,6	18,5	-4,4	1,974	0,052
30.06.2015	1:33:04	11,6	18,5	-4,4	1,974	0,052
30.06.2015	1:38:04	11,5	18,5	-4,4	1,991	0,052
30.06.2015	1:43:04	11,5	18,5	-4,4	1,991	0,052
30.06.2015	1:48:04	11,7	18,5	-4,4	1,957	0,053
30.06.2015	1:53:04	11,5	18,5	-4,3	1,983	0,052
30.06.2015	1:58:04	11,7	18,5	-4,3	1,949	0,053
30.06.2015	2:03:04	12,0	18,5	-4,3	1,900	0,055
30.06.2015	2:08:04	11,8	18,5	-4,3	1,932	0,054
30.06.2015	2:13:04	11,5	18,5	-4,3	1,983	0,052
30.06.2015	2:18:04	11,2	18,5	-4,2	2,027	0,051
30.06.2015	2:23:04	11,7	18,5	-4,2	1,940	0,053
30.06.2015	2:28:04	11,5	18,5	-4,2	1,974	0,052
30.06.2015	2:33:04	11,3	18,5	-4,2	2,009	0,051
30.06.2015	2:38:04	11,3	18,5	-4,2	2,009	0,051
30.06.2015	2:43:04	11,6	18,5	-4,2	1,957	0,053

30.06.2015	2:48:04	11,5	18,5	-4,2	1,974	0,052
30.06.2015	2:53:04	11,3	18,5	-4,1	2,000	0,052
30.06.2015	2:58:04	11,7	18,5	-4,1	1,932	0,054
30.06.2015	3:03:04	11,5	18,5	-4,1	1,965	0,053
30.06.2015	3:08:04	11,7	18,5	-4,1	1,932	0,054
30.06.2015	3:13:04	11,4	18,5	-4,1	1,982	0,052
30.06.2015	3:18:04	11,6	18,5	-4,1	1,948	0,053
30.06.2015	3:23:04	11,8	18,5	-4,0	1,907	0,054
30.06.2015	3:28:04	11,3	18,5	-4,0	1,991	0,052
30.06.2015	3:33:04	11,2	18,5	-4,0	2,009	0,051
30.06.2015	3:38:04	11,6	18,5	-4,0	1,940	0,053
30.06.2015	3:43:04	11,5	18,5	-4,0	1,957	0,053
30.06.2015	3:48:04	11,2	18,5	-4,0	2,009	0,051
30.06.2015	3:53:04	11,2	18,5	-3,9	2,000	0,052
30.06.2015	3:58:04	11,2	18,5	-3,9	2,000	0,052
30.06.2015	4:03:04	11,2	18,5	-3,9	2,000	0,052
30.06.2015	4:08:04	11,0	18,5	-3,9	2,036	0,051
30.06.2015	4:13:04	11,1	18,5	-3,9	2,018	0,051
30.06.2015	4:18:04	11,5	18,5	-3,9	1,948	0,053
30.06.2015	4:23:04	11,2	18,5	-3,9	2,000	0,052
30.06.2015	4:28:04	11,3	18,5	-3,8	1,973	0,052
30.06.2015	4:33:04	11,1	18,5	-3,8	2,009	0,051
30.06.2015	4:38:04	11,2	18,5	-3,8	1,991	0,052
30.06.2015	4:43:04	11,1	18,5	-3,8	2,009	0,051
30.06.2015	4:48:04	11,1	18,5	-3,8	2,009	0,051
30.06.2015	4:53:04	11,2	18,5	-3,7	1,982	0,052
30.06.2015	4:58:04	10,8	18,5	-3,7	2,056	0,050
30.06.2015	5:03:04	10,9	18,5	-3,7	2,037	0,051
30.06.2015	5:08:04	11,1	18,5	-3,7	2,000	0,052
30.06.2015	5:13:04	11,2	18,5	-3,7	1,982	0,052
30.06.2015	5:18:04	11,5	18,5	-3,7	1,930	0,054
30.06.2015	5:23:04	11,1	18,5	-3,7	2,000	0,052
30.06.2015	5:28:04	11,0	18,5	-3,7	2,018	0,051
30.06.2015	5:33:04	11,4	18,5	-3,7	1,947	0,053
30.06.2015	5:38:04	11,1	18,5	-3,6	1,991	0,052
30.06.2015	5:43:04	11,1	18,5	-3,6	1,991	0,052
30.06.2015	5:48:04	11,1	18,5	-3,6	1,991	0,052
30.06.2015	5:53:04	11,4	18,5	-3,6	1,939	0,053
30.06.2015	5:58:04	11,3	18,5	-3,6	1,956	0,053
30.06.2015	6:03:04	11,3	18,5	-3,6	1,956	0,053
30.06.2015	6:08:04	11,0	18,5	-3,6	2,009	0,051
30.06.2015	6:13:04	11,3	18,5	-3,6	1,956	0,053
30.06.2015	6:18:04	11,1	18,5	-3,5	1,982	0,052
30.06.2015	6:23:04	10,9	18,5	-3,5	2,018	0,051
30.06.2015	6:28:04	10,9	18,5	-3,5	2,018	0,051
30.06.2015	6:33:04	11,3	18,5	-3,5	1,947	0,053
30.06.2015	6:38:04	10,5	18,5	-3,5	2,095	0,049
30.06.2015	6:43:04	11,3	18,5	-3,5	1,947	0,053
30.06.2015	6:48:04	11,1	18,5	-3,5	1,982	0,052



30.06.2015	6:53:04	10,9	18,5	-3,4	2,009	0,051
30.06.2015	6:58:04	10,8	18,5	-3,4	2,028	0,051
30.06.2015	7:03:04	11,0	18,5	-3,4	1,991	0,052
30.06.2015	7:08:04	10,9	18,5	-3,4	2,009	0,051
30.06.2015	7:13:04	11,2	18,5	-3,4	1,955	0,053
30.06.2015	7:18:04	11,2	18,5	-3,4	1,955	0,053
30.06.2015	7:23:04	11,0	18,6	-3,3	1,991	0,052
30.06.2015	7:28:04	11,1	18,6	-3,3	1,973	0,052
30.06.2015	7:33:04	11,1	18,6	-3,3	1,973	0,052
30.06.2015	7:38:04	10,9	18,6	-3,3	2,009	0,051
30.06.2015	7:43:04	11,2	18,6	-3,3	1,955	0,053
30.06.2015	7:48:04	11,1	18,6	-3,3	1,973	0,052
30.06.2015	7:53:04	10,8	18,6	-3,3	2,028	0,051
30.06.2015	7:58:04	11,2	18,6	-3,3	1,955	0,053
30.06.2015	8:03:04	10,7	18,6	-3,2	2,037	0,051
30.06.2015	8:08:04	11,0	18,6	-3,2	1,982	0,052
30.06.2015	8:13:04	11,1	18,6	-3,2	1,964	0,053
					Průměrná hodnota	
					1,968	0,053

Číslo měření:	4	Objemová hmotnost:			110 kg.m <sup>-3</sup>	
ALMEMO	RANGE:	mV2	NiCr	NiCr	Výsledky měření	
2690-8	COMMENT:					
V5	LIM-MAX:					
	LIM-MIN:	Tep. tok ven	TČ ven	TČ vně		
DATE:	TIME:	M00:Wm	M01:°C	M02:°C	R	λ
		q	θ <sub>si</sub>	θ <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
02.08.2015	20:55:50	13,4	17,7	-9,0	1,993	0,052
02.08.2015	20:59:50	13,4	17,7	-9,0	1,993	0,052
02.08.2015	21:03:50	13,4	17,7	-9,0	1,993	0,052
02.08.2015	21:07:50	13,8	17,7	-9,0	1,935	0,054
02.08.2015	21:11:50	13,7	17,7	-9,0	1,949	0,053
02.08.2015	21:15:50	13,7	17,7	-8,9	1,942	0,053
02.08.2015	21:19:50	13,7	17,7	-8,9	1,942	0,053
02.08.2015	21:23:50	13,7	17,7	-8,9	1,942	0,053
02.08.2015	21:27:50	14,1	17,6	-8,9	1,879	0,055
02.08.2015	21:31:50	14,0	17,6	-8,9	1,893	0,055
02.08.2015	21:35:50	13,7	17,6	-8,8	1,927	0,054
02.08.2015	21:39:50	13,7	17,6	-8,8	1,927	0,054
02.08.2015	21:43:50	14,0	17,6	-8,8	1,886	0,055
02.08.2015	21:47:50	13,7	17,6	-8,8	1,927	0,054
02.08.2015	21:51:50	13,8	17,6	-8,8	1,913	0,054
02.08.2015	21:55:50	13,9	17,6	-8,8	1,899	0,055
02.08.2015	21:59:50	13,8	17,6	-8,8	1,913	0,054
02.08.2015	22:03:50	14,0	17,6	-8,7	1,879	0,055
02.08.2015	22:07:50	13,9	17,6	-8,7	1,892	0,055
02.08.2015	22:11:50	14,0	17,6	-8,7	1,879	0,055

02.08.2015	22:15:50	13,8	17,6	-8,7	1,906	0,054
02.08.2015	22:19:50	13,9	17,6	-8,7	1,892	0,055
02.08.2015	22:23:50	13,8	17,6	-8,7	1,906	0,054
02.08.2015	22:27:50	14,0	17,6	-8,6	1,871	0,055
02.08.2015	22:31:50	14,0	17,6	-8,6	1,871	0,055
02.08.2015	22:35:50	14,0	17,6	-8,6	1,871	0,055
02.08.2015	22:39:50	14,2	17,6	-8,6	1,845	0,056
02.08.2015	22:43:50	14,0	17,6	-8,6	1,871	0,055
02.08.2015	22:47:50	14,2	17,6	-8,6	1,845	0,056
02.08.2015	22:51:50	14,0	17,6	-8,5	1,864	0,056
02.08.2015	22:55:50	14,1	17,6	-8,5	1,851	0,056
02.08.2015	22:59:50	14,1	17,6	-8,5	1,851	0,056
02.08.2015	23:03:50	14,1	17,5	-8,5	1,844	0,056
02.08.2015	23:07:50	14,0	17,6	-8,5	1,864	0,056
02.08.2015	23:11:50	14,1	17,6	-8,5	1,851	0,056
02.08.2015	23:15:50	14,0	17,6	-8,5	1,864	0,056
02.08.2015	23:19:50	14,0	17,6	-8,4	1,857	0,056
02.08.2015	23:23:50	14,1	17,6	-8,4	1,844	0,056
02.08.2015	23:27:50	14,4	17,6	-8,4	1,806	0,058
02.08.2015	23:31:50	14,0	17,6	-8,4	1,857	0,056
02.08.2015	23:35:50	14,0	17,6	-8,4	1,857	0,056
02.08.2015	23:39:50	14,3	17,6	-8,4	1,818	0,057
02.08.2015	23:43:50	14,1	17,6	-8,4	1,844	0,056
02.08.2015	23:47:50	13,9	17,6	-8,3	1,863	0,056
02.08.2015	23:51:50	14,0	17,6	-8,3	1,850	0,056
02.08.2015	23:55:50	14,0	17,6	-8,3	1,850	0,056
02.08.2015	23:59:50	14,1	17,6	-8,3	1,837	0,056
					Průměrná hodnota	
					1,886	0,055